

# **Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente**

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento de Economía, Administración y Mercadología  
**Maestría en Administración**



## **Bagazo de agave: estudio de caso como parte del principio de economía circular aplicado a la industria tequilera**

---

**TRABAJO RECEPTACIONAL** que para obtener el **GRADO** de  
**MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN**

Presenta: **DR. CÉSAR OCTAVIO MACÍAS GONZÁLEZ**

Directora **DRA. MARTHA LETICIA SILVA FLORES**  
**DRA. MAITE IBARREXTE**

Tlaquepaque, Jalisco. 8 de noviembre de 2023.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>14</b>
<b>1. Fundamentación del trabajo .....</b>	<b>14</b>
1.1. Problematización la investigación .....	14
1.2. Planteamiento de la investigación.....	16
1.2.1. Descripción del contexto de la investigación.....	16
1.2.2. Validación de las condiciones para la investigación.....	21
1.3. Objetivos y pregunta de investigación.....	25
<b>CAPITULO 2 .....</b>	<b>28</b>
<b>2. Marco conceptual de la investigación.....</b>	<b>28</b>
2.1. Estado de la cuestión.....	28
2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados .....	30
<b>CAPITULO 3 .....</b>	<b>37</b>
<b>3. Marco metodológico de la investigación.....</b>	<b>37</b>
3.1. Análisis de referencia: primera hipótesis.....	37
3.2. Descripción de las categorías de análisis: indicadores y variables de análisis. ....	39
3.3. Selección de herramientas, técnicas e instrumentos de investigación .....	40
3.4. Metas de información .....	40

<b>CAPITULO 4 .....</b>	<b>42</b>
<b>4. Trabajo de campo de la investigación .....</b>	<b>42</b>
4.1. Diseño del trabajo de campo de la investigación.....	42
4.1.1. Proceso del trabajo de campo.....	43
4.1.2. Consideraciones costo/beneficio del trabajo de campo.....	45
4.2. Cronograma del trabajo de campo de la investigación .....	47
4.3. Imprevistos y riesgos .....	48
<b>CAPITULO 5 .....</b>	<b>49</b>
<b>5. Exposición de hallazgos.....</b>	<b>49</b>
5.1. Organización de los hallazgos .....	49
5.1.1. Tipos de calderas en la industria tequilera .....	52
5.1.2. Demanda energética y fuentes de biomasa disponible.....	53
5.1.3. Impacto ambiental y emisiones GEI de la cadena de vida de la industria tequilera .....	54
5.1.4. Potencial energético del bagazo de agave .....	57
5.1.5. Tratamiento del bagazo de agave .....	62
5.1.6. Impacto social por la implementación de calderas de biomasa .....	68
5.1.7. Impacto ambiental por la implementación de calderas de biomasa .....	70
5.1.8. Modelo de economía circular: beneficios, aplicación e impacto dentro de la cadena de la industria tequilera.....	72
5.2. Impacto de la investigación .....	77
<b>CAPITULO 6 .....</b>	<b>79</b>
<b>6. Discusión final.....</b>	<b>79</b>

6.1. Líneas para futuras investigaciones .....	79
6.2. Relevancia y trascendencia disciplinaria de la investigación .....	80
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>81</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>87</b>

## *Abstract*

A research by using the methodology of case study in the field of circular economy applied to the tequila industry at Mexico in the Jalisco State is conducted in this investigation as an alternative solution to the non-sustainable traditional linear economic model. Therefore a sustainable production of tequila by using fuel from non fossil fuels requires a sufficient supply of biomass that have comparable energy magnitude in comparison with the value of combustóleo to feed the industrial boilers in that industry and it is found in the waste of agave called agave bagasse the main solid waste generated by the tequila industry in México, which in the year 2020 was a considerable volume of waste in the magnitude of 562.8 thousand of tons. This biomass from agave bagasse has a potential energy value of 17 to 19 MJ/kg which is comparable with the one from combustóleo, besides the positive effects about social, economic, and environmental aspects, in terms of greenhouse gases (GHG) the combustion of biomass from agave bagasse is neutral in comparison with the emissions from the fuel from origin fossil. Based on those arguments the applicability of the circular economy that is restorative, regenerative by design keeping and materials at their highest utility and value at all the times in the biological cycle is a sustainable solution to be applied in the tequila industry with huge potential to be replicable in similar agricultural sectors like sugar cane, rice, coffee, wheat, corn, etc.

**Key words:** circular economy, biomass, agave bagasse, greenhouse gases, biological cycle.

## INTRODUCCION

El planeta tierra es el único lugar conocido en el universo que provee condiciones ambientales óptimas para la subsistencia de los seres humanos, los animales, los ecosistemas y que posee recursos naturales finitos. En las últimas décadas, se ha comenzado a experimentar los efectos de la degradación ambiental, el calentamiento global, el cambio climático, el agotamiento de los recursos naturales, energéticos y la extinción de algunas especies animales. Además de ello, existe una creciente desigualdad social donde cada vez más personas sufren el impacto de la degradación de las condiciones ambientales naturales provocando, entre otros, la migración de miles de personas en todo el mundo en la búsqueda de condiciones ambientales óptimas para la subsistencia, aunado a la disminución del índice de desarrollo humano que se compone de los criterios de salud, educación y estándares de calidad de vida. Hasta ahora, los esfuerzos realizados por las naciones, las empresas privadas y las organizaciones sociales no han sido suficientes para mitigar esos efectos en términos de la adopción de un modelo económico sostenible a largo plazo, es decir; el modelo de economía circular aplicado en la industria tequilera que engloba los aspectos: eliminación de residuos y contaminación, circular los productos y materiales en su valor más alto y regenerar la naturaleza.

Esta investigación es un estudio de caso de Biointra Renovables empresa del sector privado que colabora en conjunto con el gobierno del Estado de Jalisco y el sector tequilero de la región de tequila, Jalisco. Biointra provee soluciones en el tratamiento de residuos como lo es el bagazo de agave, proceso de peletización y uso de calderas ecológicas para el sector tequilero que a través de las políticas y regulaciones establecidas por el gobierno del Estado de Jalisco permiten la vinculación de estos tres actores, y donde el observador el estudiante realiza el enlace con la academia para el desarrollo de este Trabajo de Obtención de Grado (TOG) con enfoque en investigación del tipo cualitativa.

Este TOG muestra el caso del manejo de residuos sólidos como parte del modelo de economía circular aplicado en el sector tequilero y específicamente en el proceso de producción del tequila, que se encuentra relacionado con aquellos modelos económicos sostenibles, y encuentra una base sólida para afrontar los desafíos globales a los que nos enfrentamos día a día en los 17 objetivos de desarrollo sostenible promovidos por las naciones unidas (ONU), con esto se busca que los países y sus sociedades emprendan un cambio de paradigma para

mejorar la vida de los seres vivos. La agenda de los 17 objetivos de desarrollo sostenible incluye desde la eliminación de la pobreza hasta las alianzas para lograr dichos objetivos.



Figura 1, Los 17 objetivos de desarrollo sostenible establecidos por la ONU (2015).

Este trabajo de investigación integra principalmente tres objetivos de desarrollo sostenible que van alineados con los objetivos de este TOG, los cuales son:

- 7.- Energía asequible y no contaminante
- 9.- Industria, innovación e infraestructura
- 13.- Acción por el clima

El objetivo 7 relacionado con energía asequible y no contaminante se encuentra relacionado con este TOG en el uso del bagazo de agave como fuente primaria para la elaboración de pellets de biomasa provenientes de este residuo que previamente tratado de manera adecuada se utilizará como combustible para su uso en calderas ecológicas y neutro en el balance de emisiones de gases de efecto invernadero como lo es el dióxido de carbono en comparación con las emisiones provenientes de combustibles de origen fósil como lo es el combustóleo o gas y por consiguiente impactará de manera directa en el objetivo 13 acciones por el clima, que con iniciativas de esta magnitud se tendrá una reducción de gases de efecto invernadero, mediante el uso de tecnología innovadora e infraestructura como es el tratamiento del bagazo del agave para su secado, peletización, instrumentos de control de calidad dentro de los laboratorios, densidad, humedad, poder calorífico hasta las calderas ecológicas que podemos

encontrar dentro de la industria tequilera enmarcado dentro del objetivo 9 de los SDGs de la ONU.

La región donde se desarrollará este trabajo de investigación es en el municipio de Tequila, Jalisco, enlistado con el número 094, de la figura 2.

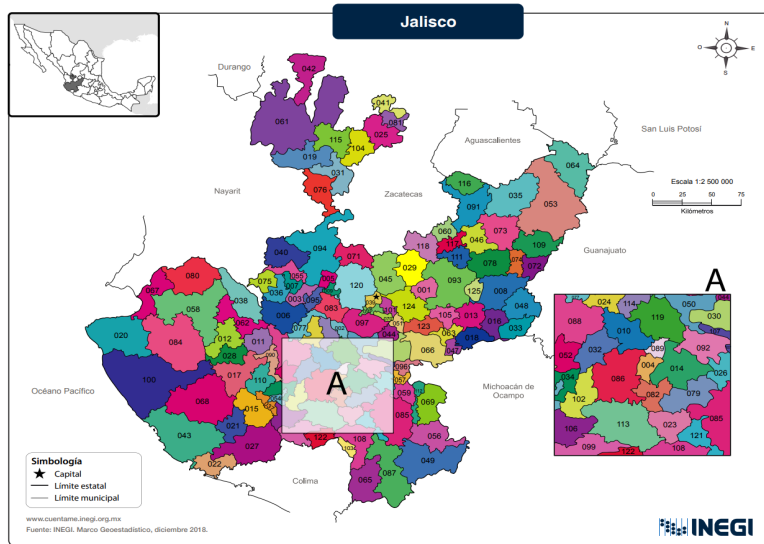


Figura 2, Mapa del estado de Jalisco que muestra los municipios (INEGI, 2018)

Esta región de Jalisco comprende un importante sector netamente tequilero, en donde podemos encontrar un clúster de empresas dedicadas a la fabricación de tequila y por consiguiente una gran cantidad de hectáreas de cultivo de agave, lo cual genera residuos sólidos como lo es el bagazo de agave el cual tiene un potencial importante para ser utilizado como materia prima para la elaboración de pellets por ello es importante hacer énfasis sobre el trabajo que realizan las Naciones Unidas para concientizar no solo al sector privado, a las naciones si no incluso a la sociedad para tomar acciones de manera particular que a su vez en conjunto sean sostenibles en el largo plazo mediante políticas implementadas por los gobiernos e incentivando al sector privado para la adopción de estas, que tenga un impacto de manera significativa en las condiciones de vida de la sociedad y del medio ambiente.

Sin embargo, es importante hacer notar que no solo existen modelos económicos sustentables derivados de los 17 objetivos de desarrollo sostenible implementados por la organización de las naciones unidas (ONU), por ejemplo, existen modelos sostenibles derivados del concepto de ESG por sus siglas en ingles Environmental, Social, Governance que se ha utilizado de

manera indistinta con los conceptos de sustentabilidad y responsabilidad social corporativa. Sin embargo, la diferencia radica en aquellas estrategias de inversión a corto y largo plazo en términos de impacto ambiental, social y de gobierno corporativo que afectan la salud financiera de las compañías. Es decir; el impacto no solo radica en el aspecto social o ambiental, sino también en términos de una mejor organización corporativa, en otras palabras; que es lo mejor para la compañía.



Figura 3, Las 7 fases del desarrollo de ESG (Lykkesfeldt, P., Kjaergaard, L. L., 2022)

En la figura 4, podemos observar que desde hace más de un siglo esfuerzos en cambiar el paradigma de las organización de enfocarse solo en el bienestar económico comenzó a evolucionar a fin de concientizar al gobierno y a la sociedad civil en encontrar un balance entre el medio ambiente, sociedad y aspecto económico, diferentes modelos económicos sostenibles han evolucionado a través del tiempo y con mayor relevancia a partir de 1987 donde la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, establecido el

concepto de sostenibilidad que involucra los tres pilares de este concepto como los son el aspecto social, ambiental y económico, y los tres deben de tener el mismo nivel de relevancia para las organizaciones, naciones y sociedad civil, el segundo y más reciente desarrollado por las Naciones Unidas en los 17 objetivos del desarrollo sostenible y dado a conocer en el 2015.

En relación con el concepto de ESG existen criterios relevantes para las decisiones de inversión, los cuales dependen de la compañía y la industria en particular en la cual se desarrollan, los siguientes criterios son identificados de manera frecuente como indicadores de desempeño de las organizaciones.

<b>Environmental</b>	<b>Social</b>	<b>Governance</b>
Climate change	Diversity and inclusion	Director independence
Carbon emissions	Workplace health and safety	Board diversity
Pollution	Human rights	Board experience
Waste management	Supply chain labor standards	Board leadership structure
Resource depletion	Product quality and safety	Executive compensation
Deforestation	Community relations	Shareholder rights

Figura 4, Clasificación de la estrategia ESG (Lykkesfeldt, P., Kjaergaard, L. L., 2022)

Este TOG se alinea de manera directa con la estrategia ESG en la parte ambiental y de manera precisa con el manejo de residuos, como lo es el desecho sólido resultante del procesamiento de las piñas de agave y que se presenta en forma de bagazo, en el aspecto social al incluir personal especializado dentro de la cadena de suministro para la producción del tequila y la reincorporación o tratamiento de los residuos sólidos para el proceso de transformación en pellets y sean incorporados al proceso como combustible sustituto del combustóleo, y finalmente en la parte de gobierno corporativo donde los inversionistas en colaboración con organizaciones gubernamentales buscan realizar inversiones para incorporación de tecnología novedosa que sea rentable para organización y a su vez reduce los gases de efecto invernadero (GEI) donde impactará de manera positiva en el posicionamiento de la empresa en el mercado.

Con base en este contexto se tiene como objetivo del TOG analizar la viabilidad de incorporar el modelo de economía circular en su ciclo biológico en la industria tequilera. Ya que, uno, de los aspectos fundamentales para el objetivo es la utilización de los desechos de la industria tequilera con el propósito de reincorporarlos en forma de pellets de biomasa. Estos pellets se producen a partir del bagazo de agave, que, gracias a su alta capacidad calorífica de 17-19 MJ/kg, posee un potencial considerable como fuente de combustible en calderas ecológicas. Esta utilización reemplazaría a las calderas que actualmente dependen de combustibles de origen fósil, como el combustóleo.

Este cambio no solo contribuiría a un equilibrio neutro en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con los combustibles fósiles, sino que también generaría beneficios económicos para la empresa. El motivo es que existen cantidades significativas de bagazo de agave disponible para su procesamiento, como lo indica un estudio realizado por el Colegio de Ingenieros Ambientales. Además, la generación de energía mediante estos pellets de biomasa resulta aproximadamente un 50% más económica que la generada con combustóleo.

Además de los beneficios económicos, esta iniciativa tiene un impacto positivo en la región de Tequila. Se promovería la inversión en infraestructura para el tratamiento de los residuos de bagazo de agave, lo que a su vez tendría un impacto ambiental significativo al reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuir la explotación de recursos finitos y reducir la contaminación resultante de su quema.

Por último, cabe destacar que las cenizas resultantes de la quema de estos pellets de biomasa pueden reincorporarse de manera natural al subsuelo, cerrando así el ciclo y estableciendo un modelo de economía circular.

La temática de este TOG tiene un impacto en el sector tequilero, donde incluso nuevos planes de estudios en Universidades privadas están emergiendo enfocadas en procesos de producción de tequila y el consumo a nivel mundial, por lo que la investigación abre un campo de acción en la aplicación de modelos económicos sustentables en México que realmente en términos de buscar alternativas de fuentes de energía renovables no había sido explotado de manera considerable por no tener la necesidad al poseer reservas de

hidrocarburos importantes como la cercanía con productores como Estados Unidos de América.

Las limitaciones que puede llegar a presentar este trabajo es que al momento se encuentra muy acotado el estudio de caso en la industria tequilera y es necesario que el gobierno estimule con políticas públicas, con incentivos fiscales la adopción de nuevas tecnologías e infraestructura para llevar a cabo estos proyectos donde la academia, gobierno, empresas y sociedad formen parte de manera activa en dichos programas.

Este trabajo toma como base las investigaciones realizadas por el centro Mario Molina en términos de la huella de carbono en la cadena de valor agave-tequila que arroja datos interesantes para la interpretación y cálculos presentados en el capítulo 5 de este trabajo, además de ellos información relevante para dicha interpretación se muestra en los estudios realizados por Colegio de Ingenieros Ambientales en términos de demanda energética de clústeres industriales en jalisco como las reservas de biomasa términos de capacidad energética por el tipo de planta y su disposición, aunado a la información de literatura existente como de petróleos mexicanos en términos de información técnica de hidrocarburos como costos. Este documento comprende 5 capítulos de los cuales, el capítulo 1 hace referencia a la problemática existente en términos del agotamiento de los recursos naturales como lo son los hidrocarburos y en un caso particular el uso de combustibles de origen fósil en la industria tequilera en jalisco en el proceso de producción de tequila altamente contaminantes, buscando mitigar este efecto al incorporar el modelo de economía circular dentro de este sector utilizando combustible de origen no fósil, en el capítulo 2 se aborda el análisis de los tipos de residuos sólidos existentes en la agricultura, conceptos básicos para una mejor comprensión del lector, y el potencial uso de estos residuos en las industrias enfocando este perfil en el uso del residuo sólido como lo es el bagazo de agave en la generación de energía. El capítulo 3, habla sobre los efectos en la degradación ambiental por el uso de combustibles de origen fósil y la alta emisión de gases de efecto invernadero como analizado a través de un modelo Ishikawa que describe cuales son los factores que bloquean el uso de fuentes alternas de energía y con ello el desarrollo del capítulo 4 en términos del trabajo de campo, la elaboración de entrevistas, cuales y cómo será el proceso y las fuentes para obtener información relevante para este trabajo de investigación, consideraciones y el marco de trabajo entre el sector privado, industria y academia, continuando con el capítulo 5

encontramos una basta cantidad de resultados interesantes en base al estudio de campo que da como resultado la recolección de datos aunado a la información técnica de distintas fuentes permite realizar análisis, obtención, e interpretación de los mismos de los beneficios, sociales, ambientales y económicos, para finalmente el capítulo 6, donde se culmina con la discusión final en términos de la aplicación del modelo de economía circular en la industria tequilera del estado de jalisco, el impacto positivo, la importancia y relevancia de las líneas de investigación que se desprenden de este trabajo de obtención de grado como la trascendencia disciplinaria.

# CAPITULO 1

## 1. Fundamentación del trabajo

### 1.1.Problematización la investigación

Los efectos de la degradación ambiental, el calentamiento global, el cambio climático, el agotamiento de los recursos naturales y energéticos son efectos de un modelo de economía lineal ineficiente basado en la explotación de los recursos naturales, sin que sea sustentable o regenerativo. Los esfuerzos realizados por las naciones, las empresas privadas y las organizaciones sociales no han sido suficientes para mitigar esos efectos en términos de la adopción de un modelo económico sostenible a largo plazo, es decir; la inserción del modelo de economía circular en la industria tequilera engloba los aspectos: eliminación de residuos y contaminación, circular los productos y materiales en su valor más alto y regenerar la naturaleza como estrategia de un modelo económico sustentable.

Bajo la premisa de buscar fuentes alternas para la generación de energía calorífica de menor impacto ambiental en términos de emisión de gases de efecto invernadero y del agotamiento de los recursos energéticos se investiga cómo el modelo de economía circular aplicado a la industria tequilera en el Estado de Jalisco en el ciclo biológico, al usar el residuo sólido resultante de la molienda de las piñas de agave en la producción de tequila conocido como bagazo de agave, para la generación de energía limpia a partir de su tratamiento y utilizado como combustible en forma de pellets de biomasa en calderas ecológicas y reincorporado al subsuelo en forma de cenizas que funcionará como nutriente orgánico y biodegradable de forma natural.

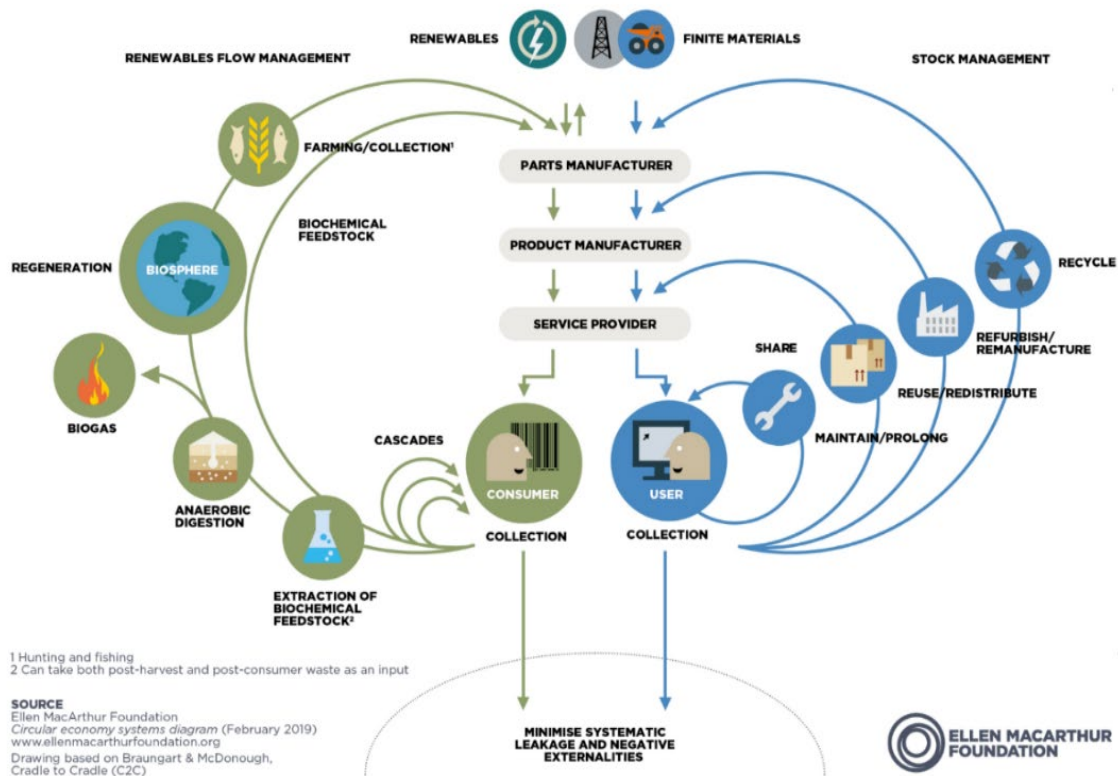


Figura 5, Diagrama de sistema de economía circular-mariposa (Fundación Ellen Macarthur, 2019).

La economía circular, se define como el contexto de una economía que es restauradora y regenerativa por diseño, en otras palabras, que tiene como objetivo mantener los productos, componentes y materiales en su mayor utilidad y valor en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos (Fundación Ellen Macarthur 2019). La figura 5, del sistema de economía circular comprende dos ciclos: biológico y técnico, el primero es un ciclo el cual da origen por la composición de materiales que son biodegradables y pueden regresar al subsuelo de manera segura a través de distintos subproductos como lo son compostas, cenizas, en forma de materia orgánica, etc., este ciclo comprende el concepto de regeneración que es el tercer principio de la economía circular. Por otro lado, el ciclo técnico comprende aquellos productos que son utilizados mas no consumidos o que no son biodegradables de forma natural, aunque si mediante subprocesos o tratamientos químicos para reincorporarlos a la naturaleza de forma natural y que persigue los primeros dos principios de la economía circular que son eliminar residuos y contaminación como circular los productos y materiales en su valor más alto.

## 1.2. Planteamiento de la investigación

### 1.2.1. Descripción del contexto de la investigación

Esta investigación se lleva a cabo en el contexto de la industria del tequila, que es uno de los sectores agrícolas más importantes de México y con un importante crecimiento económico en la última década en el Estado de Jalisco dentro es la industria tequilera de donde se obtiene un alto porcentaje de residuos sólidos conocido como bagazo a partir del procesamiento de las piñas de agave, y que poseen un alto potencial calorífico para ser utilizado como una fuente de biomasa para la producción del tequila mediante calderas ecológicas en sustitución del combustóleo empleado actualmente en dicha industria, ello se logra al tener materiales biológicos como este desperdicio el cual se degrada de manera natural al paso del tiempo bajo condiciones ambientales para favorecer su degradación, sin embargo, su tratamiento permite reutilizarlo al ser transformado en pellets de biomasa para su utilización en calderas ecológicas para el proceso de combustión y las cenizas de este proceso ser reincorporadas al subsuelo.

El valor de la producción de agave y su impacto en el PIB agrícola nacional resulta de suma importancia ya que su crecimiento ha sido sostenido pasando de 1 a 2 dígitos en los últimos 14 años, lo cual genera una gran cantidad de residuos sólidos que pueden ser utilizados en este sector industrial después de realizar un tratamiento adecuado de los mismos.

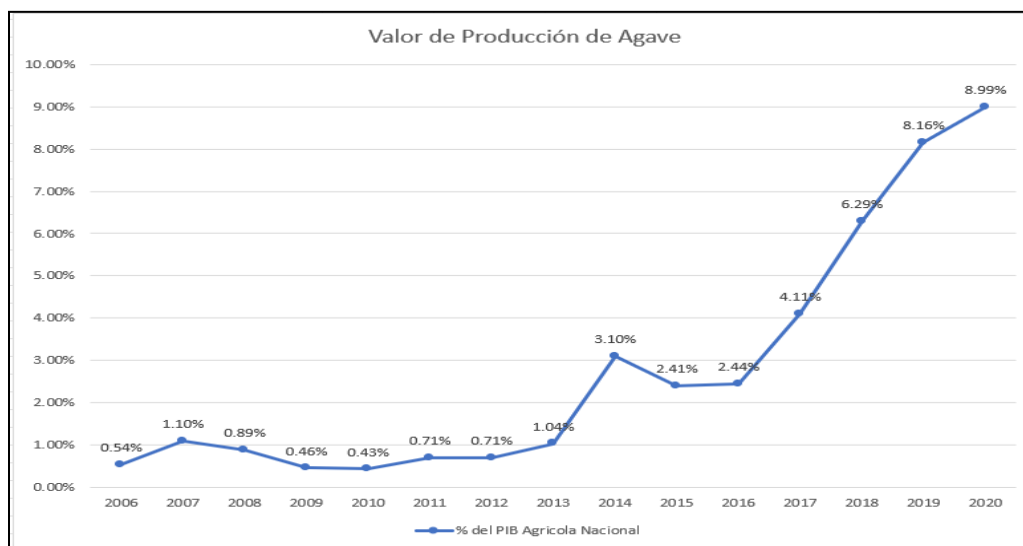


Figura 6, Valor de la producción agavera y su impacto en el PIB agrícola nacional con un crecimiento sostenido desde el año 2010. (Autoría propia con datos SIAP, estadística de producción agrícola)

La figura 6, refleja el crecimiento en las exportaciones de tequila y mezcal a nivel mundial lo que representa un reto importante para la industria agavera y lo que permea con alto impacto por su denominación de origen (DOT) en el caso del tequila.

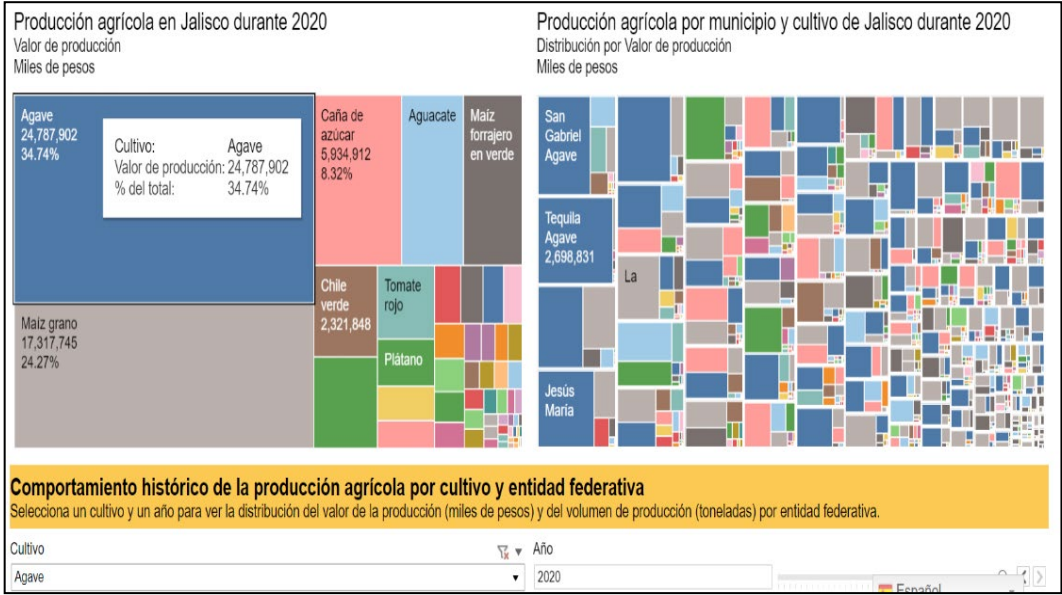


Figura 7, Relevancia de la industria tequilera en el estado de Jalisco en términos de producción agrícola (Fuente IIEG).

En relación a la figura 7, la industria tequilera en el estado de Jalisco al año 2020, tuvo una producción agrícola relacionada con el agave que representó el primer lugar con un valor de producción de 24'787,902 mil millones de pesos en el ubicandose en el primer lugar con un porcentaje del 34.74 % del 100%, esto superando un cultivo de tradicional milenaria como lo es el maíz de grano ubicado en el segundo lugar con un porcentaje del 24.27%.

Cultivo	Valor de la producción (miles de pesos)													
	2012	% Part. 2012	2013	% Part. 2013	2014	% Part. 2014	2015	% Part. 2015	2016	% Part. 2016	2017	% Part. 2017	2018	% Part. 2018
Agave	1,502,409.80	4.9%	2,083,353.13	6.8%	8,685,385.99	22.2%	6,746,097.97	16.6%	6,777,695.38	14.9%	11,700,236.37	20.4%	17,902,253.16	26.8%
Maíz grano	12,144,495.42	39.5%	10,171,902.61	33.1%	9,707,400.97	24.8%	10,943,701.51	27.0%	12,524,208.60	27.5%	14,880,144.34	25.9%	15,065,049.63	22.5%
Caña de azúcar	4,056,565.91	13.2%	3,800,889.02	12.4%	3,484,202.88	8.9%	3,848,492.62	9.5%	4,441,140.50	9.8%	5,168,796.02	9.0%	5,591,368.13	8.4%
Pastos y praderas	2,991,160.52	9.7%	3,156,040.32	10.3%	3,698,235.89	9.5%	4,457,740.45	11.0%	4,852,771.08	10.7%	5,353,777.48	9.3%	5,553,057.11	8.3%
Maíz forrajero en verde	1,864,480.16	6.1%	1,933,605.82	6.3%	2,028,863.93	5.2%	2,003,026.38	4.9%	2,550,479.39	5.6%	3,373,822.37	5.9%	3,903,161.18	5.8%
Aguacate	494,737.38	1.6%	884,318.66	2.9%	1,393,565.91	3.6%	1,812,397.67	4.5%	1,925,039.81	4.2%	2,790,493.83	4.9%	3,072,237.20	4.6%
Frambuesa	399,149.14	1.3%	354,013.07	1.2%	371,903.04	1.0%	811,073.46	2.0%	1,706,940.75	3.8%	1,647,801.41	2.9%	2,043,296.35	3.1%
Tomate rojo (jitomate)	1,152,251.60	3.7%	1,036,711.07	3.4%	1,357,907.88	3.5%	1,784,921.29	4.4%	1,605,486.66	3.5%	1,754,815.74	3.1%	1,972,794.79	2.9%
Chile verde	514,879.35	1.7%	751,870.35	2.4%	1,138,169.28	2.9%	1,144,927.36	2.8%	1,374,424.84	3.0%	1,625,694.89	2.8%	1,827,267.69	2.7%
Plátano	187,491.49	0.6%	260,146.48	0.8%	327,778.29	0.8%	387,512.49	1.0%	486,998.31	1.1%	546,559.18	1.0%	717,635.46	1.1%
Otros	5,470,467.20	17.8%	6,263,677.84	20.4%	6,915,462.10	17.7%	6,636,213.51	16.4%	7,261,736.38	16.0%	8,623,527.82	15.0%	9,265,053.88	13.8%
<b>Total:</b>	<b>30,778,087.97</b>	<b>100.0%</b>	<b>30,696,528.37</b>	<b>100.0%</b>	<b>39,108,876.16</b>	<b>100.0%</b>	<b>40,576,104.71</b>	<b>100.0%</b>	<b>45,506,921.70</b>	<b>100.0%</b>	<b>57,465,669.45</b>	<b>100.0%</b>	<b>66,913,174.58</b>	<b>100.0%</b>

Tabla 1, IIEG, Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco, con información del Sistema de Información Agropecuaria (SIAP).

La Tabla 1, muestra la evolución en términos del valor de la producción de agave en miles de millones de pesos a través de los años donde en el 2012 se ubicaba en el en el sexto lugar en lo que respecta a los valores de producción de cultivos y paso a ser en el año 2018 el cultivo con mayor producción agrícola en el estado de Jalisco manteniéndose desde dicho año hasta el último censo del 2020 donde continuaba ocupando el primer lugar.

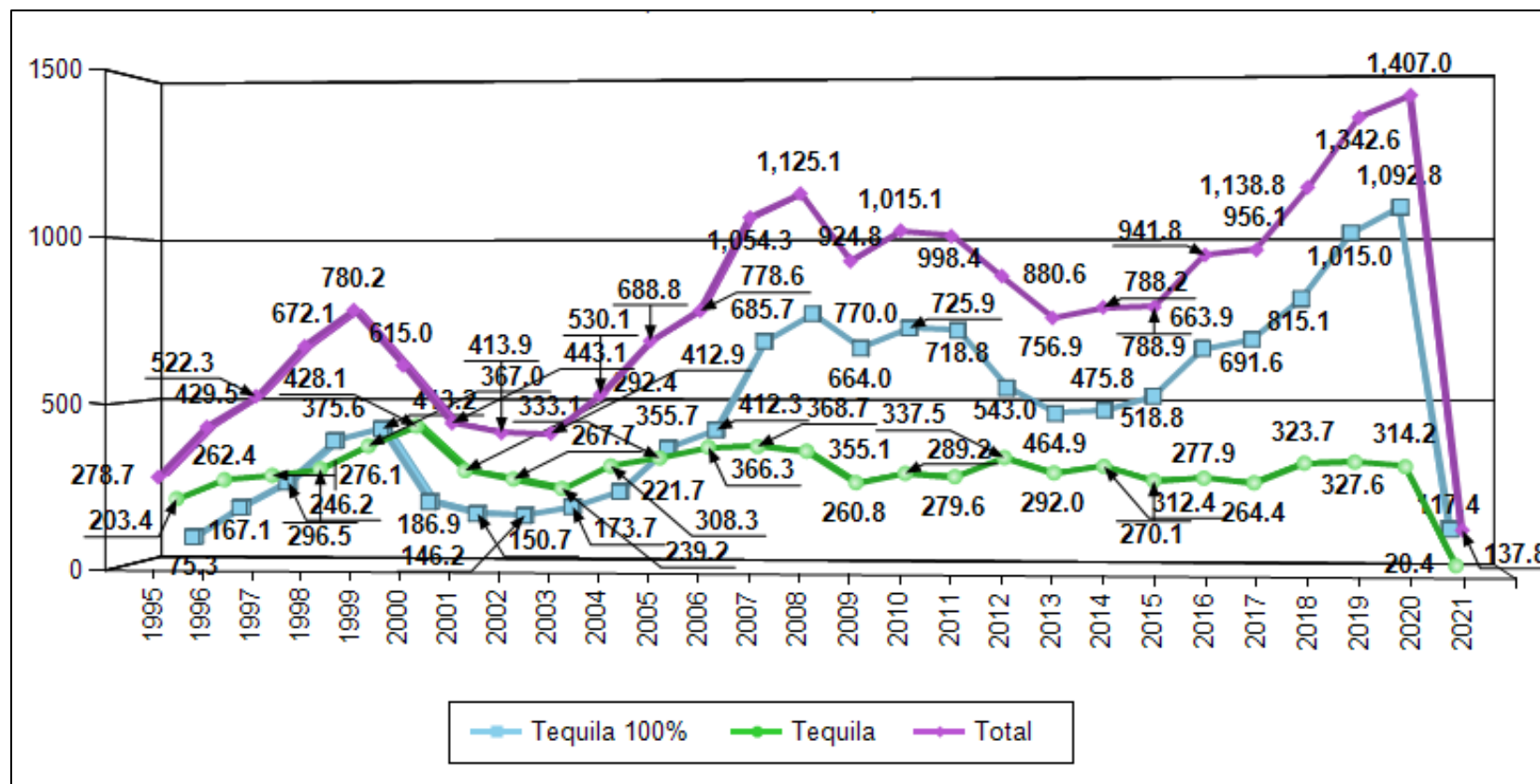
Por consiguiente la producción agrícola del agave genera una gran cantidad de residuos sólidos, el bagazo de agave puede ser utilizado como insumo mediante la conversión de este material orgánico o (biomasa) en pellets comprimidos para generar energía calorífica, utilizado para el proceso de destilación del tequila reduciendo la emisión de GEI en comparación con la energía obtenida por el uso combustible de origen fósil y su impacto ambiental como en el agotamiento de los recursos energéticos.

Figura 8, Vapor de caldera ecológica que utiliza biomasa de bagazo de agave y otras materias primas orgánicas como combustible (<https://www.gob.mx/firco/articulos/caldera-ecologica>).



El bagazo es la fibra de agave, obtenida una vez cocidas y molidas las piñas, el bagazo contiene entre 60 a 71 % de humedad y esto representa aproximadamente el 40% del peso total de la cabeza de agave molido sobre una base húmeda (Manual del Técnico Tequilero, 2019).

### Consumo de Agave para Tequila y Tequila 100% Agave (miles de toneladas)



	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Tequila 100%	75.3	167.1	246.2	375.6	413.2	186.9	150.7	146.2	173.7	221.7	355.7	412.3	685.7	770.0	664.0	725.9	718.8	543.0	464.9	475.8	518.8	663.9	691.6	815.1	1,015.0	1,092.8	117.4
Tequila	203.4	262.4	276.1	296.5	367.0	428.1	292.4	267.7	239.2	308.3	333.1	366.3	368.7	355.1	260.8	289.2	279.6	337.5	292.0	312.4	270.1	277.9	264.4	323.7	327.6	314.2	20.4
Total	278.7	429.5	522.3	672.1	780.2	615.0	443.1	413.9	412.9	530.1	688.8	778.6	1,054.3	1,125.1	924.8	1,015.1	998.4	880.6	756.9	788.2	788.9	941.8	956.1	1,138.8	1,342.6	1,407.0	137.8

Figura 9, Consumo de Agave para Tequila y 100% Tequila a lo largo de los años y demanda real en 2021 (Consejo Regulador del Tequila, 2021).

Basado en la figura 9, esto indica, que en el año 2020 se demandaron 1,407,000 toneladas de agave a la industria tequilera, y considerando que el bagazo representa el 40% del peso total del agave utilizado para producir tequila hablamos de que 562.8 mil toneladas de bagazo sobre base húmeda.

Lo que representa que mediante el uso de combustibles renovables se pueda utilizar para la generación del vapor utilizado dentro de los procesos productivos para la elaboración de inulinas y miel de agave, *esto permite reducir los costos de producción hasta en un 70% en relación con la utilización de combustibles fósiles, además de evitar la contaminación del medio ambiente al dejar de emitir dióxido de azufre a la atmosfera por los humos que se expulsan por el uso de calderas tradicionales de combustóleo.*

El proceso de destilación con calderas de biomasa consiste en quemar dentro de la caldera, los desechos los cuales calientan agua que produce el vapor que es dirigido por una tubería hacia la planta para ser utilizado dentro del proceso productivo, deshaciéndose así de forma segura y ecológica de estos desechos, además las cenizas que se generan son utilizadas como fertilizante natural al provenir de materias orgánicas.

### **1.2.2. Validación de las condiciones para la investigación**

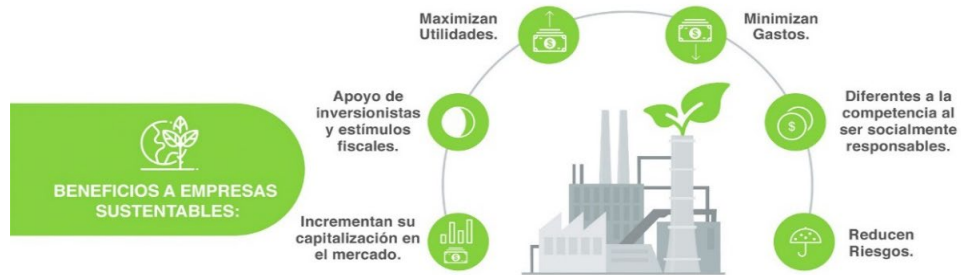
La investigación es un estudio del caso donde se aborda el tema con la empresa Biointra Renovables. La empresa Biointra Group se encuentra localizada en la ciudad de México y parte de sus operaciones se encuentran en la región del municipio de Tequila, Jalisco a través de Biointra Renovables, subsidiaria que forma parte de Biointra Group





Somos un grupo de empresas expertas en Bioenergía, creadas para asesorar a diversos sectores de la industria en la innovación de sus procesos de fabricación mediante la venta, construcción y adaptación de equipos y plantas de última generación para el procesamiento de sus desperdicios (residuos), el suministro de biocombustibles así como el apoyo de soluciones financieras para fomentar el crecimiento de sus empresas, mediante la generación de energías sustentables.

Con las empresas «cleantech» de Biointra Group® permeamos e impactamos con nuestras asesorías a rubros de la industria como: agricultura, agroindustria, salud, textil, química y desde luego en el consumo. Para las empresas del grupo es claro que las «cleantech» serán pieza clave para transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones, contribuir con el crecimiento económico de las empresas y la conservación de los recursos naturales.



**UNIDADES DE NEGOCIO:**



Biointra es una de las empresas pioneras en la región de Jalisco donde se ha optado por el cambio de calderas de combustible de origen fósil por calderas ecológicas que utilizan biomasa en forma de pellet obtenido del desecho del bagazo del agave. El objetivo busca la inserción de un ecosistema circular en el paisaje agavero, mediante la revalorización de residuos generados, con el fin de minimizar su disposición final y contribuir a la descarbonización de la cadena productiva agave-tequila entre el gobierno del Estado de Jalisco, la empresa Biointra Renovables como estudio de caso y los inversionistas del sector

privado del sector tequilero. Además del análisis técnico del proceso y de las estadísticas existentes en el sector, es viable el estudio de campo que comprende principalmente la realización de entrevistas a la empresa Biointra Renovables como actor clave en la inserción de esta nueva tecnología dentro de la industria tequilera para evaluar su impacto directo en los tres pilares de la sostenibilidad, el ambiental, social y económico.

El siguiente diagrama ilustra como se lleva a cabo el trabajo de campo mediante cuatro actores principales en este trabajo de investigación, el observador (estudiante MBA), fuente de información (Biointra Renovables) como estudio de caso quién a su vez es el enlace con el gobierno del Estado de Jalisco, y el clúster de empresas tequileras de la región de Tequila , Jalisco donde se lleva a cabo esta investigación.

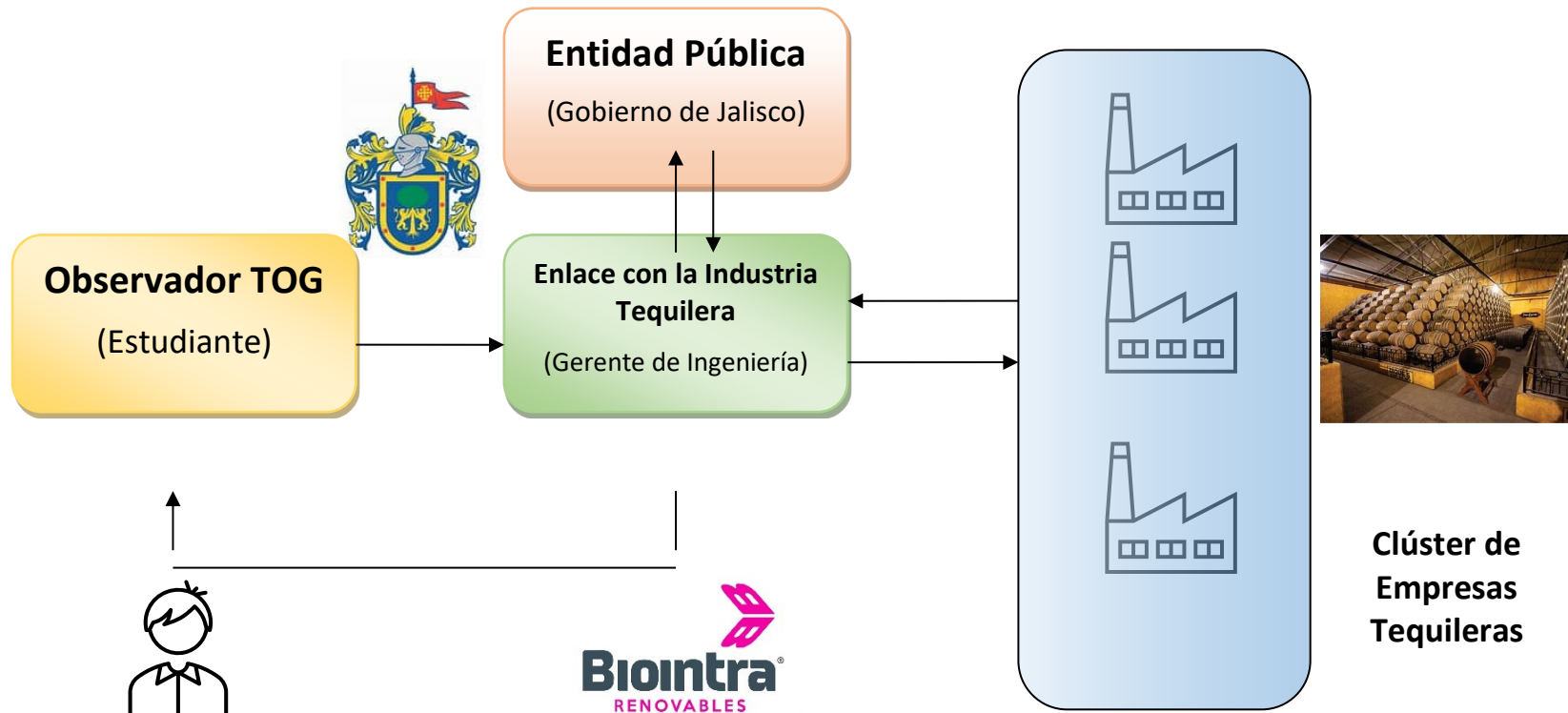


Diagrama 1, El trabajo de campo se lleva a cabo mediante la información recopilada del observador que representa al estudiante del ITESO y su principal fuente de información como lo es el enlace con el clúster industrial de empresas tequileras de la región de Tequila, Jalisco.

### **1.3.Objetivos y pregunta de investigación**

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la viabilidad de incorporar un modelo de economía circular en el ciclo biológico de la industria tequilera, centrándose especialmente en la utilización del bagazo.

#### **Objetivos específicos**

- a) Determinar la capacidad de producción de pellets de biomasa a partir del bagazo de agave y su potencial calorífico en comparación con el combustóleo.
- b) Calcular el impacto ambiental de la sustitución de calderas que utilizan combustibles fósiles (como el combustóleo) por calderas que emplean pellets de biomasa a partir del bagazo de agave.
- c) Evaluar la viabilidad económica de la transición a calderas de biomasa a partir del bagazo de agave
- d) Determinar si el uso de biomasa como energía renovable obtenida a partir del bagazo de agave es factible de implementar en el proceso de producción de tequila mejorando su la viabilidad económica.
- e) Determinar el impacto ambiental en términos de las emisiones de GEI por el uso de biomasa de bagazo de agave, en comparación con el uso de combustible de origen fósil.

#### **Pregunta:**

¿Cuál es la viabilidad de implementar un modelo de economía circular en la industria tequilera, determinando su impacto social, ambiental y viabilidad económica específicamente en la producción de tequila, mediante la utilización de residuos para la generación de energía, considerando la producción de pellets de biomasa a partir del bagazo de agave?

#### **1.3.1. Descripción del objeto de estudio a investigar**

El modelo economía circular representa un reto importante para las empresas que pretenden adoptar dicho modelo, ya que se basa en tres principios, todos impulsados por el diseño:

- a) Eliminar los residuos y la contaminación
- b) Circular los productos y materiales (en su valor más alto)

### c) Regenerar la naturaleza

Es decir; la complejidad en la implementación de este objeto de estudio es muy elevado ya que se involucran distintos factores en cada uno de los actores, por mencionar algunos, por ejemplo:

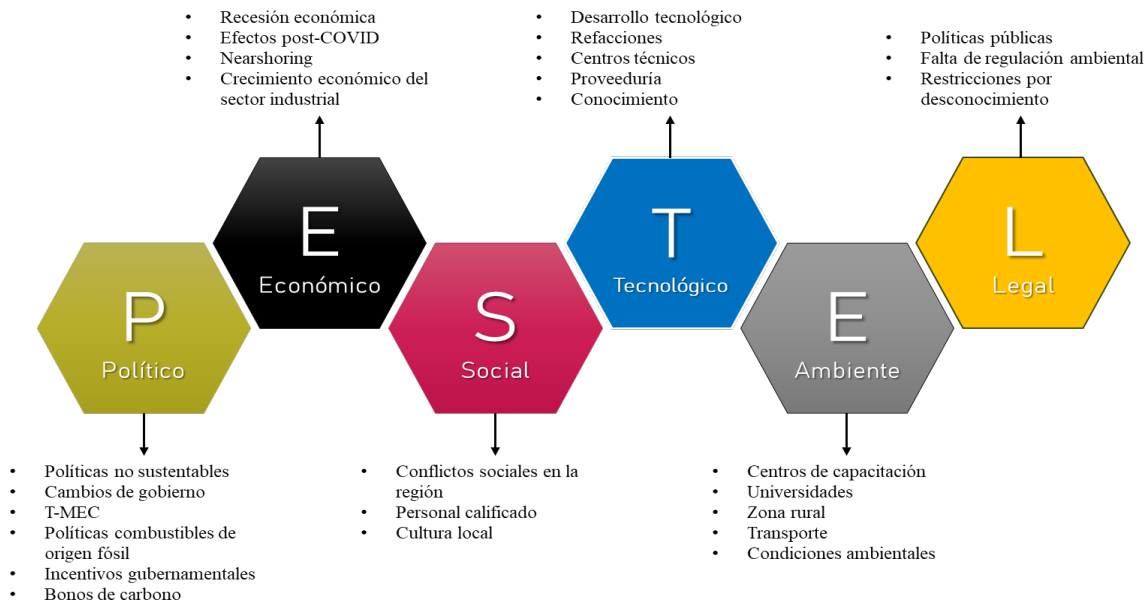


Diagrama 2, Análisis de PESTEL de aquellos factores que pueden generar un efecto negativo o positivo en el objeto de estudio.

Por lo que resulta imperativo tomar en cuenta dichos factores para poder contrarrestar su efecto en base a un análisis de riesgo donde se incluyan acciones para mitigar o incrementar el efecto ya sea positivo o negativo.

## 1.4.Relevancia y pertinencia de la investigación

El enfoque principal de esta investigación es determinar cómo desde la perspectiva de la economía circular aplicada a la industria tequilera en el aspecto biológico donde un residuo como lo es el bagazo de agave que es tratado y transformado en pellets de biomasa pueden ser utilizados para la generación de energía térmica en calderas ecológicas sustituyendo las actuales que utilizan combustibles de origen fósil, reduciendo la huella de carbono e

impulsando el uso de energías renovables en los procesos de producción de tequila. Está previsto que esta investigación se lleve a cabo durante el período del año 2021-2022. El impacto de esta investigación será aplicable a todas las industrias en las que los residuos de la cosecha puedan utilizarse una vez tratados y transformados en pellets para ser utilizados como combustible para los procesos de producción (por ejemplo, bagazo de caña de azúcar, cáscara de café, etc.).

El desarrollo de este TOG busca contribuir en el campo de la investigación sobre sostenibilidad a largo plazo a través de la adopción y aplicación del modelo de economía circular dentro de procesos de empresas privadas y organizaciones sociales. Además, crea conciencia entre la población sobre la necesidad de actuar para mitigar los efectos de la degradación ambiental.

Esta investigación tiene como objetivo mejorar el desarrollo y la competitividad de las organizaciones a través de la sostenibilidad, de tal manera que todos los actores relevantes de las empresas y organizaciones sociales puedan encontrar soluciones mediante la adopción de mejores prácticas sostenibles que les permitan contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible 7, 9 y 13 y lograr alcanzar un valor compartido como resultado de políticas y prácticas que contribuyen a la ventaja competitiva al tiempo que fortalecen las comunidades en las que opera una empresa es decir el desarrollo social de las comunidades en el entorno donde operará este ecosistema circular en la industria tequila generando empleos y personal especializado en dicha materia.

## **CAPITULO 2**

### **2. Marco conceptual de la investigación**

#### **2.1.Estado de la cuestión**

La necesidad de reducir los desechos y la extracción de recursos naturales viene acompañada de un cambio de paradigma en la sociedad civil, las instituciones gubernamentales como del sector privado y la obsolescencia de un modelo económico tradicional lineal que ya ha dejado de ser funcional y solo genera un uso excesivo de recursos naturales que provocan graves efectos en términos de degradación ambiental, cambio climático y la extinción de recursos no renovables. Por otro lado tenemos el modelo de economía circular que es regenerativo y busca mantener los recursos y los bienes a su máximo nivel de utilización como lo define (La Fundación de Ellen MacArthur, 2017).

El desecho incluye todos aquellos materiales que ya no son utilizados por las personas, que se pretenden ser desechados o que ya lo han sido. Existe una gama muy amplia en términos de desechos desde aquellos, que desechamos en nuestros hogares provenientes del consumo diario, de las industrias o incluso aquellos que desechamos de actividades como la jardinería, empaques para productos de cosechas, etc. En términos generales el origen de los desechos puede ser muy amplio y variado.

Uno de los objetivos clave es la reducción de la emisión de GEI que se encuentra ubicado dentro del pilar de cero emisiones del modelo de economía circular, y otros como lo son: eficiencia de los recursos, economía azul, logística inversa, ver figura 11, y que comprende de acuerdo con Ogunmakinde et al., (2021), tres fases involucradas en el control y reducción de emisiones de la producción industrial las cuales son:

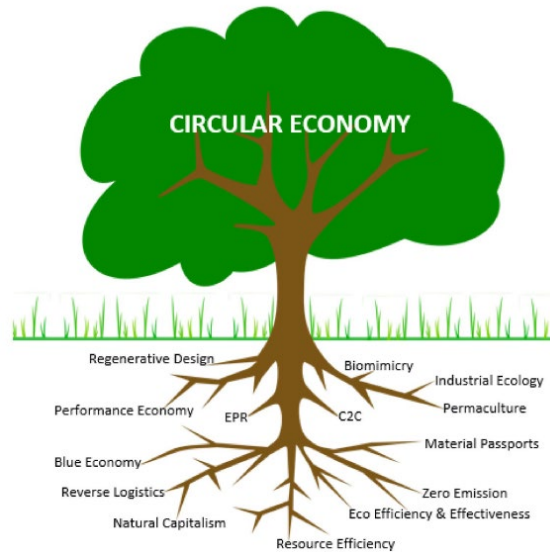


Figura 10, Pilares del modelo de economía circular (circular economy pillars: a semi-systematic review, 2021).

- *Tratamiento final del proceso*: aplicación de tecnologías para limpiar las emisiones después de que se hayan generado.
- *Producción más limpia*: aplicación de técnicas y estrategias en la etapa de producción para evitar la contaminación, reducir costos y prevenir riesgos.
- *Cero emisiones*: implica la alteración de las tecnologías de producción y estrategias para reducir la entrada de recursos y consumo.

En este caso la tecnología utilizada por la empresa Biointra se localiza en el punto de una *producción más limpia* al utilizar calderas de biomasa para la producción del tequila.

Tal y como lo define la (Resource Conservation and Recovery Act), el desecho sólido es cualquier material sólido, semisólido, líquido o gaseoso contenido y desechado de operaciones industriales, comerciales, mineras o agrícolas, y de actividades comunitarias. Los desechos sólidos incluyen basura, escombros de construcción, desechos comerciales, lodos del suministro de agua o plantas de tratamiento de desechos, o instalaciones de control de la contaminación del aire y otros materiales desechados.

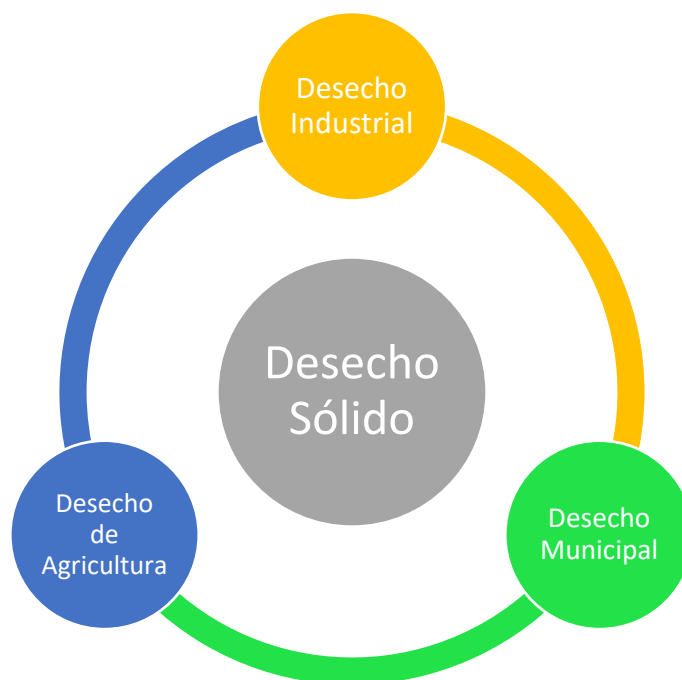


Figura 11, Fuentes de desechos sólido que existen (handbook of solid waste management, 2022)

Basado en el alcance de este trabajo de obtención de grado nos enfocaremos en el desecho sólido proveniente de las actividades de la agricultura del agave como una de las actividades que esta considera dentro del sector primario de las actividades económicas en México y que tiene alta relevancia para el país en términos de desarrollo social, impacto ambiental y de ingresos económicos y que representa dentro de la industria tequilera que en el año 2020 se demandaron 1'407,000 toneladas de agave, y considerando que el bagazo representa el 40% del peso total del agave utilizado para producir tequila hablamos de que se generaron 562.8 mil toneladas de bagazo sobre base húmeda como desecho sólido.

## 2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados

Agave, es el nombre de un género de plantas monocotiledóneas que comprende unas 210 especies pertenecientes al orden asparagales y a la familia Asparagaceae, de las cuales 150 se encuentran en México. El término como género botánico fue acuñado por el naturalista sueco Carlos Linneo (1707- 1778) en el año de 1753 en su obra *species plantarum* (especies

vegetales); la mayoría de los investigadores coinciden en que el motivo para elegir este nombre para el género es la prominencia, majestuosidad y altivez, que muestra la estructura alargada cilíndrica, semejante a un tallo donde se desarrollan las flores de estas plantas. Los agaves, comúnmente llamados con la voz caribeña maguey, son originarios de las regiones áridas y semiáridas de América del norte, centro y sur. Diversas especies se cultivan para aprovechar sus fibras textiles (como el henequén, en Yucatán y Tamaulipas), de la savia se obtienen por fermentación bebidas alcohólicas como el pulque y los mezcales; otras son apreciadas por sus propiedades tradicionalmente curativas o como planta de ornato.

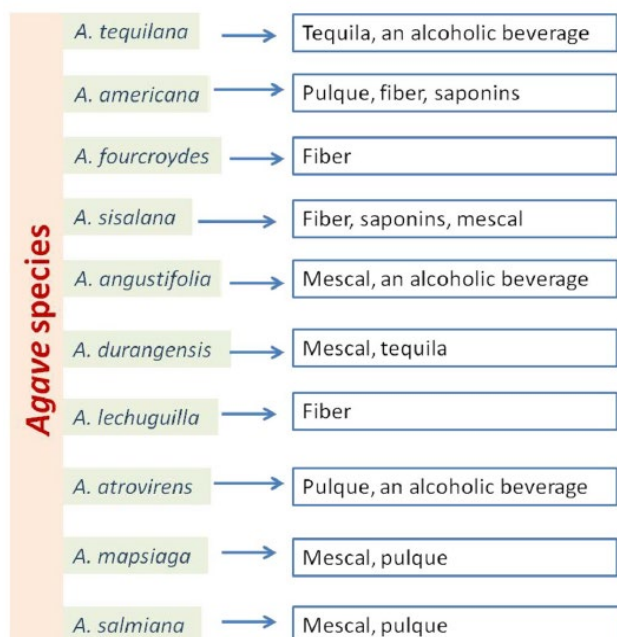


Figura 12, Algunas especies de agave y sus productos tradicionales (Kumat A., Ram, C., 2021)

Posee un tallo muy corto e inconspicuo (botánicamente “acaule”); las hojas largas y fibrosas de forma lanceolada, de color verde, se desarrollan en una roseta compacta, son carnosas con bordes provistos de espinas (dientes) y una espina terminal (apical), pudiendo medir desde 0.3 hasta 2.70 metros de largo; son de crecimiento lento y florecen por única vez entre los 8 y 20 años, para después morir. Las flores desarrollan una característica inflorescencia en la parte más alta de un pseudo tallo o raquis que se muestra majestuoso e impresionante que puede llegar hasta 9 metros de altura en algunas especies. El agave fue llevado de América a Europa por los conquistadores durante la época de la colonia, para ser conocido por Linneo durante el siglo XVII. Estas plantas crecen y se desarrollan mejor en ambientes áridos y

semiáridos, aunque como ornato, en parques y jardines, se adaptan a climas húmedos y templados. La parte aprovechable para la elaboración de mezcal es la piña o cabeza (tallo y base de sus hojas).

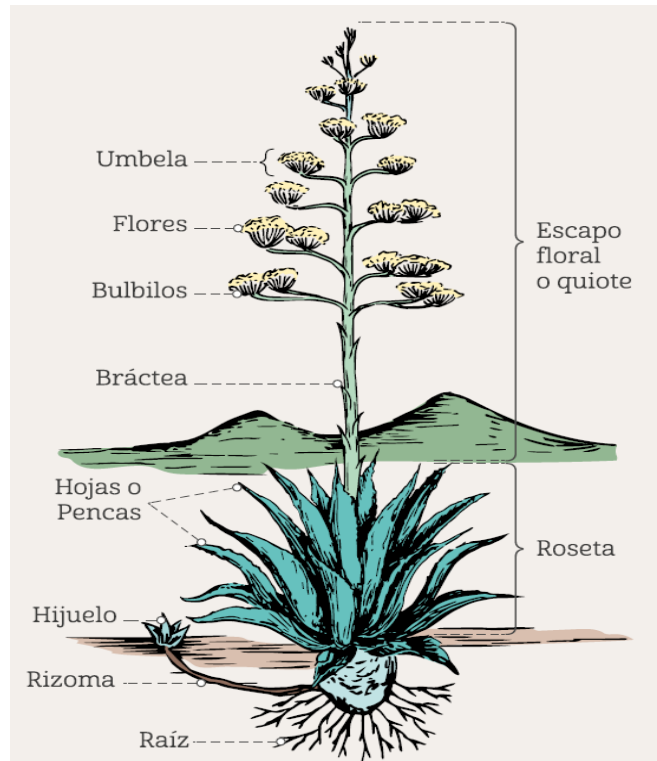


Figura 13, Morfología, composición y estructura de una planta de agave

El tequila es una bebida alcohólica regional destilada de mosto que proviene de la planta de agave, preparada de manera directa y originalmente a partir del material extraído en las instalaciones de un fabricante autorizado que se ubicará dentro del territorio especificado en la Declaración para la Protección de la Denominación de Origen Tequila (también llamada Denominación de Origen Tequila – DOT). El tequila se prepara a partir de las cabezas de la variedad Agave Tequila Weber Blue, previamente hidrolizada o cocida posteriormente, y sometida a fermentación alcohólica con levadura, debe poder ser mejorada y mezclada para formular con otros azúcares a una proporción no superior al 40% del total de azúcares reductores expresados en unidades de masa, en los términos establecidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM), entendiéndose que no se permite la mezcla de mezclas. El tequila es un líquido que, según su tipo, es incoloro o coloreado cuando madura o cuando se ablanda

inmaduro (NOM-006-SCFI-2012). El nombre del tequila fue adoptado de la región que dio a luz hace unos dos siglos.

En la producción de tequila se generan diferentes residuos, cada uno con características particulares y diferentes volúmenes de producción; dos de ellos tienen el mayor impacto: el bagazo y la vinaza.

Los compuestos orgánicos biodegradables son componentes principales de los desechos sólidos agrícolas. Es poco probable que terminen en condiciones peligrosas, excepto cuando no hay suficientes recursos de oxígeno para asimilar los desechos y su biodegradación. La mayor cantidad de desechos sólidos de actividades de agricultura son los siguientes:

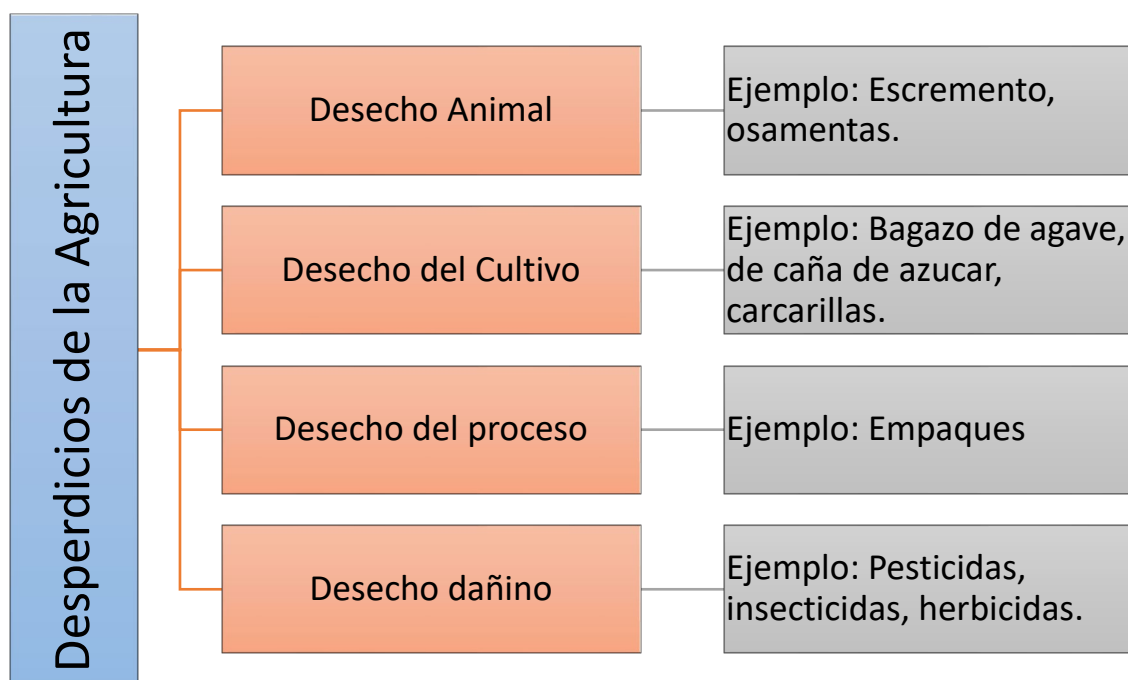


Figura 14, Componentes de los desechos de la agricultura (handbook of solid waste management, 2022)

En este trabajo de investigación nos enfocamos en el desecho del cultivo del agave una vez procesado, que es conocido como bagazo de agave y el cual su conversión para ser utilizado como combustible de biomasa representa un potencial de impacto positivo para el medio ambiente y beneficio para la sociedad.

En este sentido dentro de las cinco etapas del enfoque de gestión de residuos: *Reducir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar Energía y Desechar*. Se considera que el bagazo del agave en un enfoque moderno permite su utilización postratamiento como combustible para generación de energía a partir de las piñas de agave, lo que reduce drásticamente el peso y volumen de residuos y es una fuente de energía renovable. Esto es seguido por la composta o esparcimiento de los subproductos post-procesados en forma de cenizas de la combustión de los pellets derivados del bagazo del agave y su incorporación al medio ambiente como fertilizante para el suelo donde se cultiva el agave o cualquier otro donde se pretenda cosechar algún cultivo.

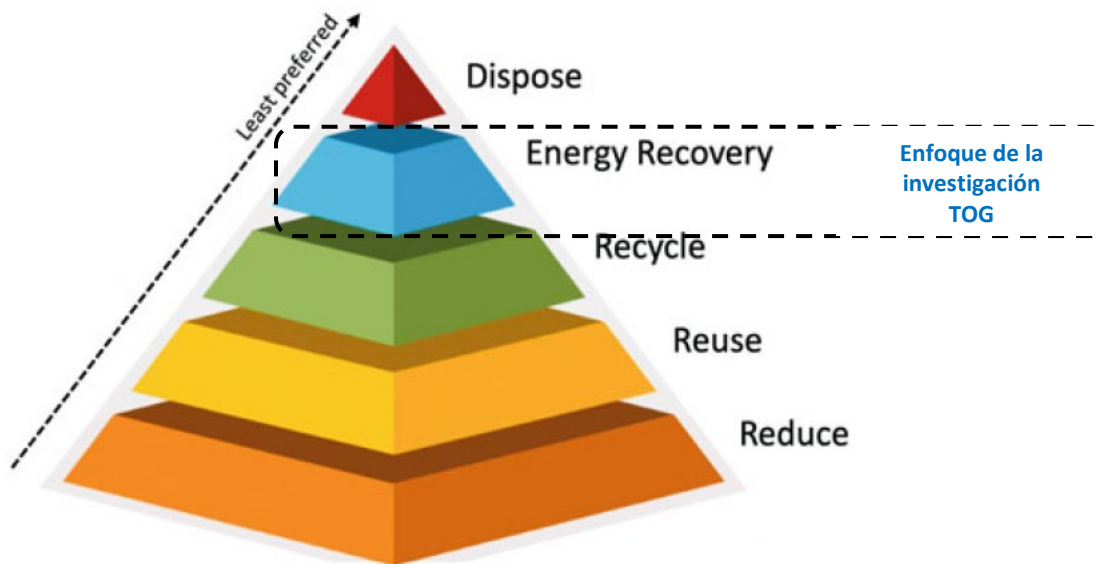


Figura 15, Jerarquía de la estrategia del manejo de residuos (handbook of solid waste management, 2022)

Si, la gestión de residuos se acopla con generación de energía, entonces no solo resuelve el problema de la eliminación de residuos, sino que también se convierte en una valiosa fuente de calor, energía y biocombustibles. Muchos países han adaptado esta estrategia, eligiendo diferentes tecnologías de conversión para la gestión del manejo de residuos sólidos. La elección de la tecnología está influenciada por varios factores sociales, económicos y ambientales. También depende del tipo, cantidad, y composición de los residuos generados (US Department of Energy 2019). Todos estos factores ayudan a determinar los parámetros operativos, el tamaño y la eficiencia energética de la planta. En términos generales, las

tecnologías de conversión de residuos en energía se clasifican en tres principales categorías, tales como tecnologías termoquímicas, bioquímicas y químicas como se muestra en la figura 16 (World Energy Council 2016).

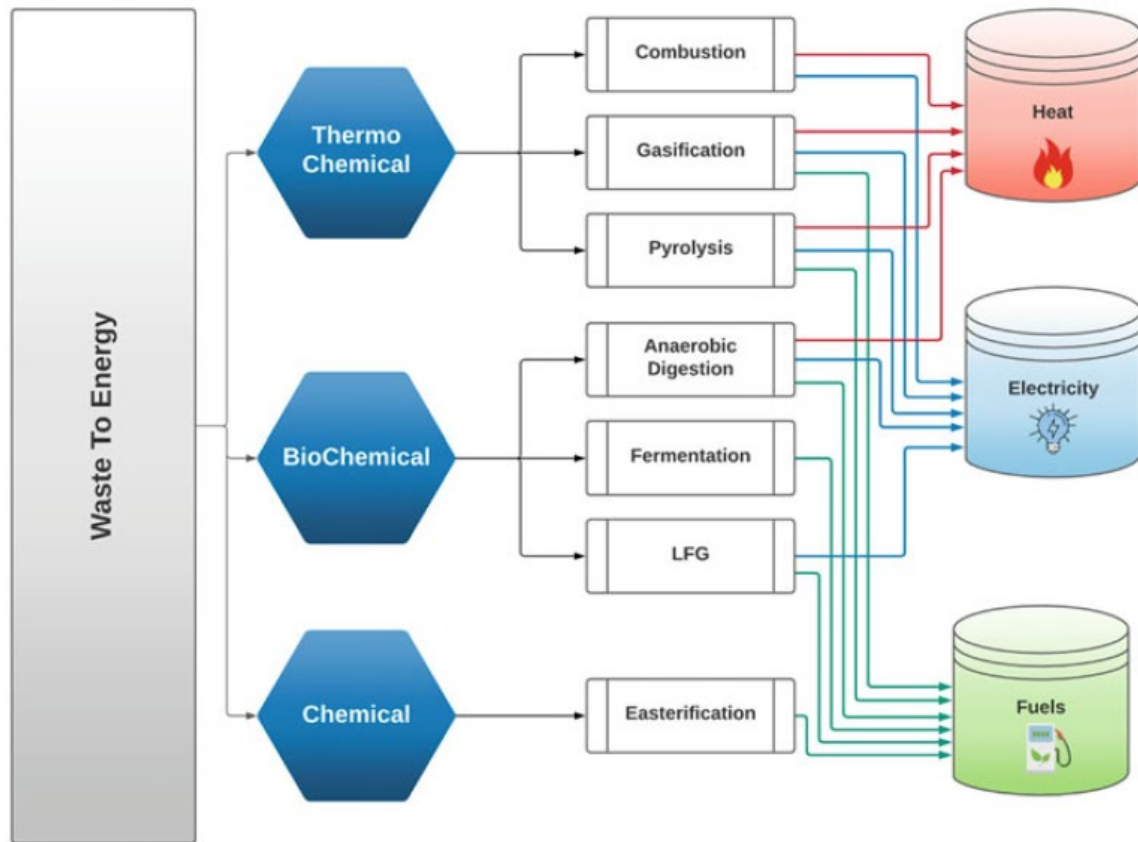


Figura 16, Tecnologías de conversión de energía en base al tipo de desecho (handbook of solid waste management, 2022).

Los procesos de conversión termoquímica son las tecnologías más utilizadas para la conversión de residuos sólidos en energía. Ellos se subdividen en las tres categorías principales como combustión, gasificación, y pirólisis, con base en la variación de tiempo, temperatura y aire utilizado durante el proceso. El material seco sólido, rico en contenido de carbono, es una materia prima adecuada para procesos termoquímicos.

*Combustión:* Es una de las tecnologías más antiguas y ampliamente utilizadas. Es tan ampliamente utilizado que muchos de sus usuarios finales no son conscientes de que es un tipo de reacción química. La oxidación de la materia orgánica que resulta en gas combustible, calor, y la ceniza es básicamente un proceso de combustión (Nussbaumer 2003). la

combustión es un proceso tan versátil que todavía está en práctica desde la edad de piedra hasta hoy y puede ser aplicado en cualquier nivel desde el doméstico hasta el industrial.

Para este proyecto de investigación se contempla el uso de calderas donde se utiliza biomasa como combustible, la cual proviene del desecho del bagazo del agave que una vez tratado y obtenido el pellet se utilizará como combustible para el proceso de combustión con la finalidad de lograr el poder calorífico que les permita generar el vapor requerido para los procesos de destilación y obtención del Tequila.

## CAPITULO 3

### 3. Marco metodológico de la investigación

La obtención de datos es de suma importancia en toda investigación, por ello definir el procedimiento por el cual se obtendrá información para su análisis e interpretación es relevante en esta investigación de carácter cualitativo. La metodología seleccionada mediante una serie de entrevistas permitirá al observador formular preguntas, recabar datos económicos, sociales y medioambientales acerca del proceso de producción de tequila actual con el uso de combustibles de origen fósil versus el propuesto que utiliza como combustible los pellets de biomasa obtenidos a partir del residuo como lo es el bagazo de agave. Esta serie de entrevistas permitirá al observador entender el entorno desde la perspectiva del entrevistado y desmenuzar la información recabada. Con ello el observador podrá identificar a través de la recolección de datos por medio de entrevistas y de la literatura existente aquellos factores que generan la problemática actual y que son los que se enuncian a continuación.

- a) Modelo de economía lineal.
- b) El uso de combustibles de origen fósil en los procesos de producción de tequila.
- c) Factores descritos en el análisis PESTEL sección 1.3.1 y 3.1.

Y en base a ello formular hipótesis que basado en los datos recabados de la investigación de campo se analizaran en la sección de exposición de hallazgos del capítulo 5 así como conjeturas acerca de los mismos.

#### **3.1. Análisis de referencia: primera hipótesis**

El propósito de esta lluvia de ideas mostrado en la Figura 17, es identificar aquellos factores que influyen en la emisión de GEI debido a los procesos de producción del tequila en los cuales se utilizan combustibles de origen fósil, y como la adopción del modelo de economía circular dentro la industria del tequila puede influir en la reducción del agotamiento de los recursos energéticos como el combustóleo, la reducción de los GEI y finalmente el impacto en el cambio climático mediante el uso de un residuo del agave conocido como bagazo de agave y su reutilización como biomasa para los procesos de la producción de tequila.

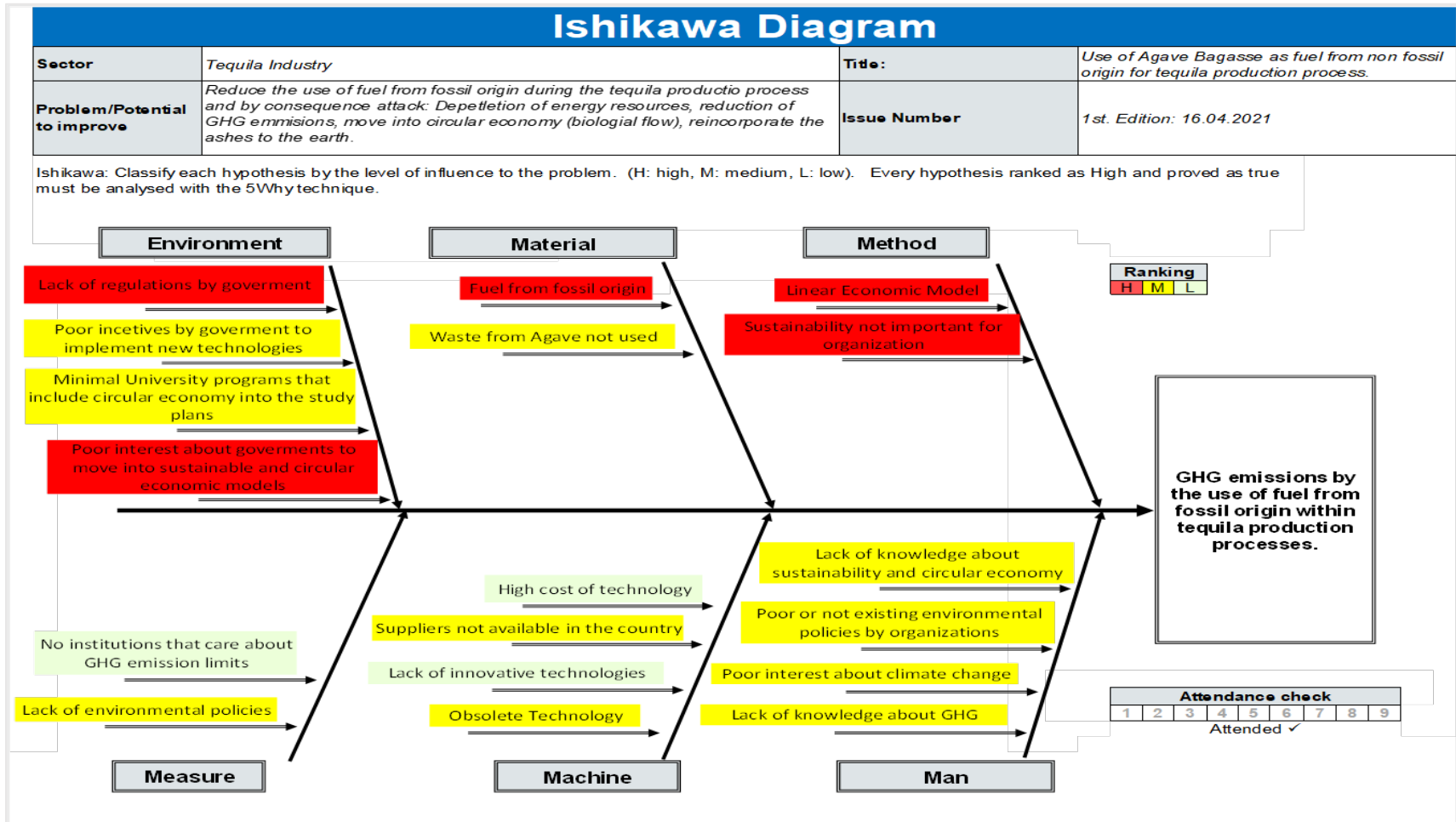


Figura 17, Diagrama de causa y efecto (diagrama de Ishikawa) sobre las emisiones de GEI por el uso de combustible de origen fósil en la industria del tequila. (Fuente: Autoría propia)

### 3.2.Descripción de las categorías de análisis: indicadores y variables de análisis.

Definición Conceptual	Variables	Bibliografía
Economía Circular	<i>Variable dependiente</i> Flujo de efectivo, impacto ambiental, social y económico.	Ellen Macarthur Foundation (2019).
Economía circular (1): Un marco para una economía que es restaurativa y regenerativa por diseño.	<i>Variable independiente</i> Materia prima (si proviene de materiales renovables o finitos).	Geissdoerfer, M. and Savaget, P. and Bocken, N.M.P. and Hultink, E.J. (2017) 'The circular economy a new sustainability paradigm?', Journal of cleaner production., 143 pp. 757-768.
Economía Circular (2): Se define como un sistema regenerativo en el que la entrada de recursos y los residuos, las emisiones y las fugas de energía se minimizan al ralentizar, cerrar y estrechar el material y la energía.	<i>Variable moderada</i> Tendencia del mercado.	
Bucles. Esto se puede lograr a través del diseño, mantenimiento, reparación, reutilización, remanufacturado, reacondicionamiento y reciclaje duraderos.	<i>Variables de Control</i> Información técnica de PEMEX, Biointra Renovables, Consejo Regulador del Tequila, literatura.	
Economía Azul: Mientras que ZERI establece la filosofía, la iniciativa de economía azul, presenta esta filosofía en acción	<i>Variables intervinientes</i> Concienciación de la población sobre el cambio climático. Decisión del Gobierno Federal sobre la inversión en energías renovables.	Gunter Pauli (2015-2021). GUNTER PAULI. Design & Property of Mauricio Uribe 2015-2021 - Copyright ©. Recuperado de <a href="https://www.gunterpauli.com/">https://www.gunterpauli.com/</a>
	<i>Variables exógenas</i> Capital, Desempleo, Desastres naturales, crisis económica.	

**Objeto de Estudio:** El modelo de economía circular y su implementación en una empresa en el estado de Jalisco de México en el proceso de producción del tequila y de generación de energía limpia.

**Sujeto de Estudio:** Biointra Renovables empresa con operaciones en el norte del Estado de Jalisco.

### **3.3. Selección de herramientas, técnicas e instrumentos de investigación**

El enfoque de este trabajo de investigación es del tipo cualitativo, en este caso del tipo interpretativo a través de un caso de estudio que se desarrolla dentro de la industria tequilera en la región de Tequila, Jalisco, donde algunas de las tequileras de la región han optado por el cambio de sus calderas que utilizaban combustible de origen fósil por el de calderas de biomasa, donde este combustible renovable se obtiene del residuo conocido como bagazo del agave una vez tratado y peletizado para su uso.

### **3.4. Metas de información**

Mediante el estudio de campo se pretende recolectar información importante sobre el caso de estudio en este caso de la economía circular y su incorporación en el proceso de elaboración del tequila, este se dará a través de una serie de entrevistas y visitas a distintas tequileras de la región.

El objetivo es interpretar la información obtenida a fin de concluir si el modelo de economía circular incorporado a esta industria a través de implementar una conversión en el bagazo del agave en forma de biomasa que se utilizará como combustible para este tipo de calderas:

1. representa un impacto positivo en términos de la protección del medio ambiente,
2. si las emisiones de GEI son menores con comparación con el uso de combustóleo en las calderas,
3. si la tecnología existente en México permite su implementación sin incurrir en riesgos por la poca disponibilidad de refacciones y/o proveedores.

4. Si la ventaja competitiva a nivel económico y social además de ambiental es relevante para ser sostenible en el tiempo y extrapolable a otras industrias similares como lo son: la del café, del azúcar, del arroz, del maíz, del sorgo, etc.

## **CAPITULO 4**

### **4. Trabajo de campo de la investigación**

#### **4.1. Diseño del trabajo de campo de la investigación**

Se trata de un estudio de caso vigente y presente en la región de Tequila, Jalisco, y se da mediante la colaboración de organizaciones gubernamentales del Estado de Jalisco y del sector privado en el cual se incorporan nuevas tecnologías para el procesamiento del bagazo del agave y la transformación de esta biomasa en pellets para su utilización como combustible. Dicho análisis permitirá al observador formular preguntas, recabar datos económicos, sociales y medioambientales acerca del proceso de producción de tequila actual con el uso de combustibles de origen fósil versus el propuesto que utiliza como combustible la biomasa partir del agave. Para finalmente realizar una interpretación de los datos para determinar el impacto en términos de emisión GEI de ambos procesos como parte de la adopción de un modelo de economía circular y que puede ser replicado a la industria cafetalera y a la de producción de azúcar por mencionar algunos sectores.

Esta investigación tiene diferentes aspectos en cuanto a visión sobre la mitigación del cambio climático, básicamente es ciencia pragmática y empírica donde interpretaremos cuáles son los aspectos positivos de adoptar un modelo de economía circular avanzado (economía azul) en el proceso de producción de tequila. Ello por supuesto contribuirá a reducir los costos por la utilización de combustibles de origen fósil anteriormente utilizados para la producción de esta bebida, ahorros en términos del consumo de energía eléctrica suministrada por la empresa paraestatal Comisión Federal de Electricidad generando un valor compartido para el empresario, en términos medioambientales, sociales y de rentabilidad para la empresa, lo que conlleva a que además de impactar de manera positiva estos tres pilares de la sustentabilidad estará cumpliendo con las regulaciones del gobierno estatal, federal y la posibilidad de recibir apoyo financiero en especie, capital o condonación de impuestos para modernizar las instalaciones de la organización.

El estudio de caso de esta investigación tiene un enfoque metodológico cualitativo por la particularidad del sujeto de estudio, por lo cual se consultan diferentes fuentes de información del tipo cuantitativo para recabar la información respecto a la industria tequilera en jalisco.

Sin embargo, las características propias de este TOG permitirán definir qué datos será importante recopilar en base al diseño de investigación.

Existen ciertos indicadores que se pretenden utilizar en este trabajo de investigación con la finalidad de realizar la interpretación de estos dentro de la industria tequilera, evaluar su impacto en el aspecto económico, social y ambiental. Y con ello concluir si este modelo resulta económica y técnicamente viable para además de los beneficios medioambientales evidentes, ayudar a mitigar los efectos adversos en cuestión de equidad social y de oportunidades de inserción laboral en la región de tequila. Los efectos en términos de impacto ambiental que permitan el uso de los recursos naturales sin comprometer los mismos para las generaciones futuras, dentro de estos indicadores podemos enunciar los siguientes:

1. Emisiones de GEI por tipo de combustible utilizado en calderas para la producción de tequila.
2. Impacto en la empleabilidad por la inserción de nuevas tecnologías como lo son calderas que funcionan a base de combustible de biomasa
3. Alcance en términos de utilizar los pellets de bagazo de agave como combustible en calderas ecológicas de otras industrias en base a su contenido energético.
4. Ahorros en términos de costos por la demanda energía eléctrica suministrada por Comisión Federal de Electricidad versus la implementación de las calderas de biomasa para actividades industriales.
5. Mejora social a través de superior empleabilidad (tiempo y posición) del personal implicado en el proceso
6. Aspectos adicionales de competitividad económica (nuevas líneas de negocio, mayor reconocimiento y posicionamiento de marca sostenible, atracción de ayudas gubernamentales, ahorro de costes para otros procesos productivos, etc.)

#### **4.1.1. Proceso del trabajo de campo**

En este apartado se seguirá la estrategia de actividades descritas en el cronograma detallado de la figura 19, donde se describen paso a paso el proceso de recolección de datos mediante distintas entrevistas a personal técnico, representantes de las compañías involucradas con este

estudio de caso simple donde el objeto de estudio como lo es la aplicación del modelo de economía circular dentro de la industria tequilera, y para ser más específicos en el manejo de desechos sólidos como lo es el bagazo del agave y su tratamiento para ser utilizado como combustible en forma de biomasa para la producción del tequila.

Dichas entrevistas tienen como objetivo obtener los siguientes datos:

- a) Conocer el proceso actual del consumo de combustible de las calderas utilizando combustóleo y las emisiones GEI.
- b) Diagrama de flujo del tratamiento del bagazo del agave y su aprovechamiento como biomasa como fuente de energía en calderas.
- c) Análisis costo beneficio, calderas de combustóleo vs calderas de biomasa.
- d) Análisis de emisión de GEI de ambos tipos de calderas.
- e) Impacto social en la región mediante la adopción de calderas de biomasa para la producción del tequila.

Estos datos serán recolectados y analizados para evaluar el impacto en base a la pregunta de investigación de como un modelo de economía circular tiene un impacto positivo en los tres pilares de la sustentabilidad económico, social y ambiental, así mismo como dentro de este último pilar se contribuye de manera específica en la reducción de GEI por la sustitución del uso de calderas de combustóleo por las de biomasa y en términos anualizados su potencial reducción de la demanda combustibles de origen fósil para evitar el agotamiento de los recursos no renovables mediante el uso de tecnologías verdes.

Además de las entrevistas técnicas se consultarán fuentes de información relacionadas con la industria del tequila como lo es el consejo regulador del tequila, Organismo localizado en la ciudad de Guadalajara, Jalisco que posee información altamente especializada con el todo el proceso y subprocesos de la producción del tequila, como artículos con arbitraje internacional, libros, revistas, etc.

### **4.1.2. Consideraciones costo/beneficio del trabajo de campo**

La adopción de estrategias ESG y modelos económicos sostenibles como lo es el modelo de economía circular y de la economía azul dentro de los distintos sectores industriales es una alternativa para reducir los efectos de GEI, el deterioro de los recursos naturales, la mejora en la equidad social y competitividad económica. De manera general este objeto de estudio se basa en los principios de diseño:

- a) Eliminar los desechos y la contaminación.
- b) Productos y materiales circulares (a su máximo valor)
- c) Regenerar la naturaleza.
- d) Generar/innovar productos adicionales a partir de los residuos
- e) Fortalecimiento a través del conocimiento de los empleados y comunidades cercanas
- f) Posicionamiento estratégico, de producto, marca y precio para la empresa al ser pionera en sostenibilidad en su sector y región.

Este modelo de economía circular sustenta su base en una transición hacia energías y materiales renovables, el cual desvincula la actividad económica del consumo de recursos finitos, que es rentable para los negocios, y bueno para las personas y el medio ambiente.

Dentro de la industria tequilera este modelo de economía circular avanzado o azul se compone de la sinergia entre el Gobierno del Estado de Jalisco, la Academia y la Industria donde los residuos sólidos como el bagazo del agave se pelletiza, se utiliza como energía renovable y después el carbono vegetal se reincorpora al subsuelo en forma de mejorador del mismo englobando los tres aspectos que contempla este modelo a), b) y c).

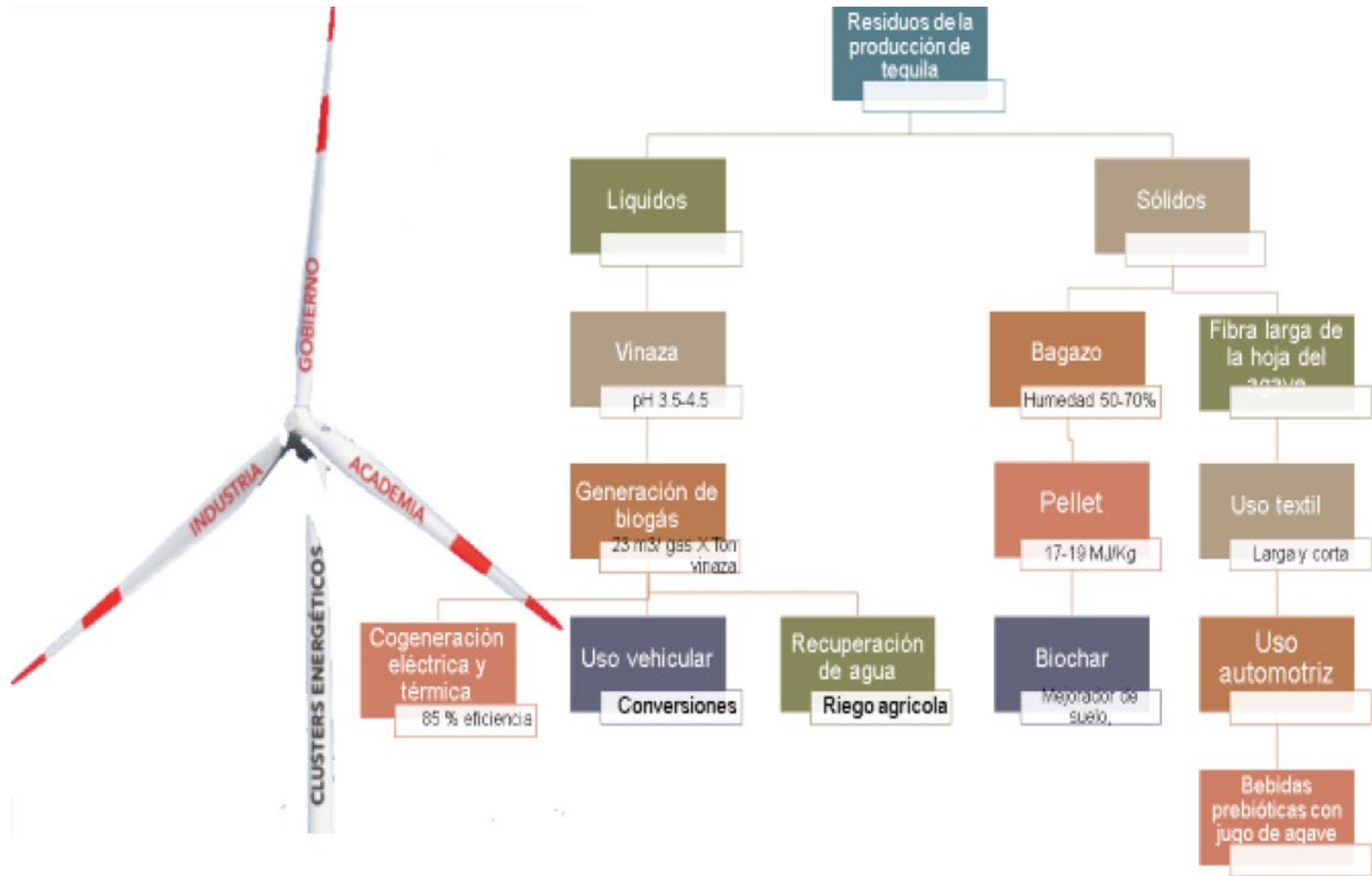


Figura 18, Diagrama de residuos de la producción del tequila (Gobierno de Jalisco, 2022).

## 4.2. Cronograma del trabajo de campo de la investigación

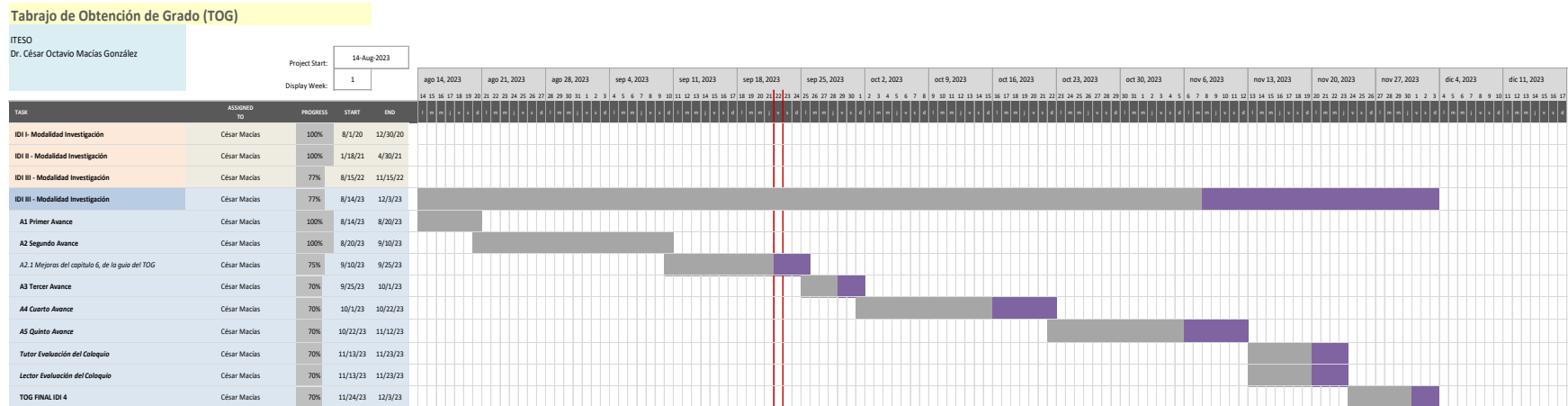


Figura 19, Gantt detallado de las actividades del TOG a desarrollar durante el IDI III

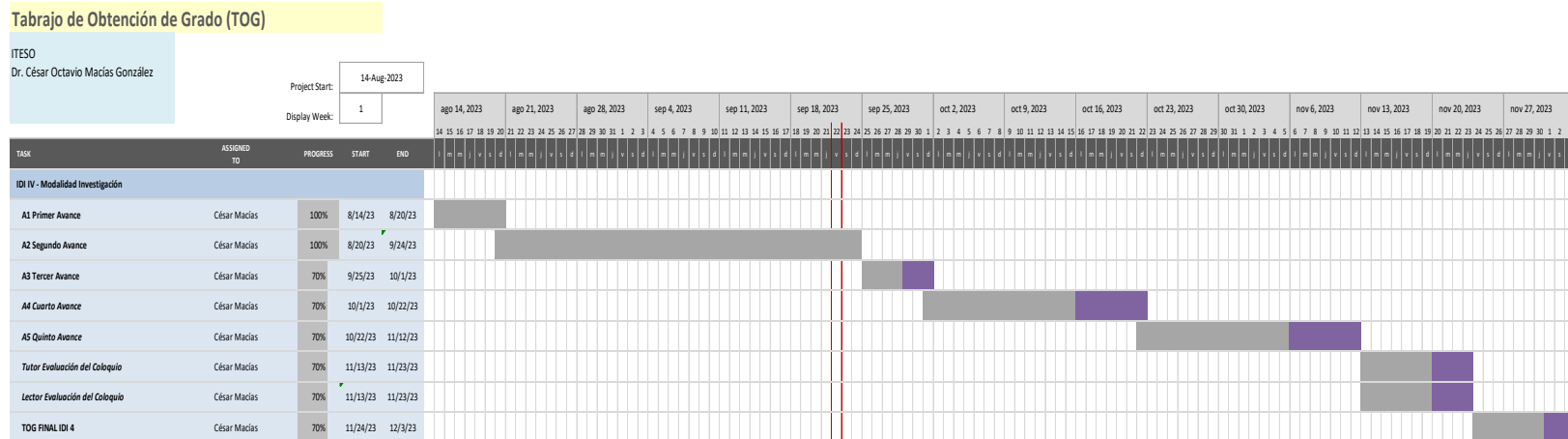


Figura 20, Gantt general de las actividades del TOG desarrolladas durante el IDI III

### **4.3. Imprevistos y riesgos**

En este trabajo de investigación los riesgos que se pueden observar en el marco de la del desarrollo del TOG son:

- a) Acceso limitado o nulo a la información por parte de la empresa involucrada en la triple sinergia: Academia, Industria y Gobierno.
- b) Acceso limitado o nulo a las instalaciones de la fábrica del tequila para observar el proceso de destilado utilizando calderas de biomasa
- c) Acceso limitado o nulo durante el proceso de elaboración de pellets del bagazo de agave.
- d) Acceso limitado o nulo durante el proceso de elaboración de abono orgánico a partir del residuo tras la destilación utilizando calderas de biomasa.

## **CAPITULO 5**

### **5. Exposición de hallazgos**

Las organizaciones públicas y del sector privado son los actores principales en la adopción de nuevos modelos económicos sostenibles en el largo plazo como modelo de economía circular representa un reto para toda organización, este modelo económico aplicable a la industria tequilera en México mediante la conversión de residuos sólidos en una fuente de generación de energía.

Este modelo resulta interesante por el potencial que representa en México en términos de que cuenta con diferentes agroindustrias generadoras de una cantidad considerable de biomasa sólida residual, como el bagazo de agave en la industria tequilera y el bagazo de uva en productoras de ron, además de otros tipos de bagazo y cáscaras de cítricos, como lo son:

- a) bagazo de caña de azúcar
- b) cascarilla del café
- c) cascarilla del trigo
- d) cascarilla del arroz
- e) cascarilla del sorgo

Estos prolíficos recursos de biomasa (constituidos en gran parte por subproductos derivados de diversos procesos) tienen la ventaja de poder generarse y almacenarse en las mismas instalaciones industriales que requieren los combustibles, por lo que en algunos casos ya se han llevado a cabo proyectos de bioenergía.

Estas industrias representan un mercado potencial para a la adopción de un modelo de economía circular.

#### **5.1.Organización de los hallazgos**

Como se ha venido analizando el objeto de estudio de TOG desempeña un papel fundamental dentro del proceso de elaboración del tequila es por ello por lo que en esta sección iniciaremos con el análisis de incorporación dentro del ciclo de producción del tequila y como dará lugar

a un modelo de economía circular aplicado al sector de la industria tequilera. Como primer paso analizamos un diagrama de proceso de la elaboración del tequila y con ello dará lugar a identificar en que paso de dicho proceso se hará una análisis más detallado para responder de manera eficiente y clara la pregunta de investigación de este TOG que tenía por objeto analizar *¿La implementación del modelo de economía circular en la industria del tequila (círculo de valor) en el estado de Jalisco puede contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero mediante el uso de pellets de bagazo de agave como fuente de energía renovable durante el proceso de producción de tequila al tiempo que contribuye a detener el agotamiento de los recursos energéticos naturales y a generar una ventaja competitiva (económica, social y medioambiental) a la industria tequilera?*

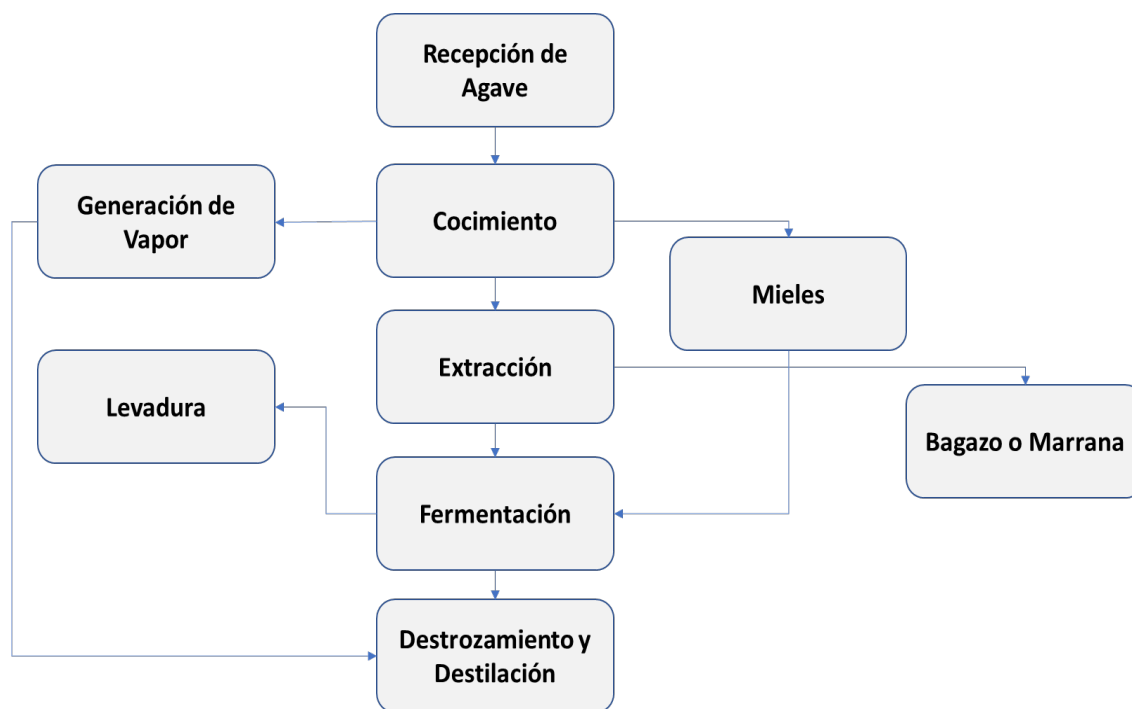


Figura 21, Diagrama de proceso elaboración del tequila elaboración propia (fuente: Consejo regulador del tequila, 2019).

La figura 22, ilustra el diagrama de proceso de manera general de la elaboración del tequila que involucra desde el proceso de recepción de las piñas de agave hasta la destilación.

De manera general se analiza que este objeto de estudio tiene impacto directo en los cinco puntos que engloba el modelo de economía circular avanzado (Economía Azul).

a) Eliminar los desechos y la contaminación.

En este aspecto al observar el proceso de elaboración del tequila utilizamos los residuos sólidos para su transformación en pellets.

b) Productos y materiales circulares (a su máximo valor)

En este caso los subproductos del proceso de elaboración del tequila como lo es el bagazo de agave.

c) Regenerar la naturaleza e impacto medioambiental añadido.

Las cenizas obtenidas de la combustión de la biomasa a partir del bagazo del agave se reincorporan al subsuelo como fertilizante orgánico.

d) Generar/innovar productos adicionales a partir de los residuos (generación de nuevo valor).

Del bagazo de agave: pellets de biomasa para las calderas y obtención de generación de vapor para el cocimiento de las piñas de agave.

De las cenizas: utilización como abono orgánico para el subsuelo.

e) Fortalecimiento a través del conocimiento de los empleados y comunidades cercanas.

Generación de empleos en la región por la implementación de las calderas de biomasa a partir del residuo y tratamiento del bagazo del agave como el desarrollo de habilidades tecnológicas y técnicas de la operación de la tecnología para la generación de vapor mediante estas calderas, es decir todo el ciclo de economía circular aplicado a la industria tequilera.

Este modelo de economía circular avanzado sustenta su base en una transición hacia energías y materiales renovables, el cual desvincula la actividad económica del consumo de recursos finitos, que es rentable para los negocios, y bueno para las personas y el medio ambiente.

A continuación, vamos a comenzar con la exposición de su aplicación a la industria del tequila y la organización de los principales hallazgos.

### **5.1.1. Tipos de calderas en la industria tequilera**

Habitualmente, la generación de calor en la industria tequilera se realiza a través del uso de combustóleo y combustible alternativo como lo es gas natural mismo que es quemado en calderas de diversas marcas y capacidades para generar vapor que es utilizado para el cocimiento del agave (desde hornos de piedra y mampostería hasta autoclaves de diversas dimensiones y marcas); así como para la fermentación (hidrólisis) extracción de los azúcares (método suave) y la destilación misma. *Por muchos el área de calderas es considerada el corazón de la destilería.*

En los últimos años, algunas tequileras, han cambiado sus calderas de que utilizan combustible de origen fósil a calderas de biomasa, sin embargo, aún son muy pocas. Y todas utilizando sólo parte de su biomasa (bagazo) al cual no logran reducir su humedad y tienen que comprar otro combustible renovable (generalmente astilla o troncos de madera) para lograr el poder calorífico que les permita generar el vapor que requieren. Es decir, han logrado reducir su huella de carbono, pero económicamente no han logrado reducir sus costos significativamente y el costo de ese tipo de calderas es más alto que las de combustóleo.

Son aún menos las que recientemente han cambiado sus calderas de combustóleo a calderas de gas natural, principalmente por no tener accesibilidad a líneas de gas natural por estar ubicadas fuera de zonas parques industriales

Las tequileras obtienen la energía eléctrica proveniente de manera principal de CFE; y las tequileras que están consideradas como altos consumidores compran su energía eléctrica de generadores limpios.

Algunas tequileras cuentan con paneles solares, pero sólo generan una mínima parte de su consumo, y son pocas o nulas aquellas que utilizan paneles térmico-solares para generar agua caliente para caldera; el cual consideran bueno, pero no han tenido mantenimiento de proveedor para continuar su operación.

## 5.1.2. Demanda energética y fuentes de biomasa disponible

También es importante analizar cuál es la demanda energética por los estados de la República Mexicana y evaluar en base a ese contexto el potencial que representan los combustibles a partir de biomasa como residuo de las distintas industrias agroalimentarias del sector primario en México.

Tabla 2, CINAM, Colegio de Ingenieros Ambientales, evaluación del potencial de la biomasa como parte de la

Conglomerados industriales	Demanda energética (TJ) <sup>a</sup>	Potencial total (TJ) <sup>b</sup>		Potencial actual (TJ) <sup>c</sup>		Principales fuentes de biomasa <sup>d</sup>
		200 km	50 km	200 km	50 km	
1. Jalisco	5,834	167,687	53,257	16,947	10,028	Caña CV: 606 TJ Forestal: 398 TJ Tequila b: 11,348 TJ Agave: 4,268 TJ Trigo: 227 TJ
2. Petacalco Carboeléctrica	153,282	38,178	-	35,827	-	Maíz: 33,947 Sorgo: 1,454
3. Coahuila Carboeléctricas	172,658	1,052	-	-	-	Fuentes de biomasa escasas
4. Chihuahua	589	12,556	-	805	-	Forestal: 650 TJ Aserrió: 155 TJ
5. Coahuila-Nuevo León	9,337	19,216	1,681	-	-	Fuentes de biomasa escasas
6. Coahuila	2,757	11,563	913	2,592	-	Aserrió: 2,592 TJ
7. Hidalgo-Estado de México	6,88W3	180,315		6,746		Caña CV: 5,211 TJ Forestal: 1,253 TJ Agave: 282 TJ
8. San Luis Potosí	9,297	85,512	2,547	9,101	-	Caña CV: 5,656 TJ Forestal: 922 TJ Tequila b: 2,523 TJ
9. Sonora	6,775	18,673	6,034	17,535	3,017	Forestal: 1,253 TJ Trigo: 11,841 TJ Maíz: 4,441 TJ

matriz energética de México (2017).

La tabla 2, muestra 9 estados de la república mexicana de conglomerados industriales carboeléctricos, producción de cemento y cal, producción de hierro y acero, ingenieros

azucareros y otros conglomerados que utilizan combustóleo y diésel y las reservas de biomasa disponible para la sustitución de este combustible de origen fósil por fuentes renovables como la biomasa. Para el caso del estado de Jalisco, la demanda por cada conglomerado industrial representa una demanda promedio de alrededor de 5,834 TJ, y en base a una evaluación de las principales fuentes de biomasa se encuentra el bagazo de agave con un potencial de 11,348 TJ, es decir si se le otorga un tratamiento adecuado a este residuo sólido, puede ser utilizado para reemplazar el combustible de origen fósil en ciertos sectores industriales que cumplan con las características para obtener energía mediante la combustión de este combustible como fuente de energía calorífica.

### **5.1.3. Impacto ambiental y emisiones GEI de la cadena de vida de la industria tequilera**

Sin embargo; es importante determinar dentro de la industria tequilera y en específico en la cadena de suministro cuál es el impacto medio ambiental en termino de emisiones de gases de efecto invernadero y basado en los principios de economía circular aplicado a la misma puede ayudar en la disminución de los GEI. Un análisis realizado por centro de investigaciones Mario Molina en conjunto con el Consejo Regular del Tequila muestra los resultados de este estudio.

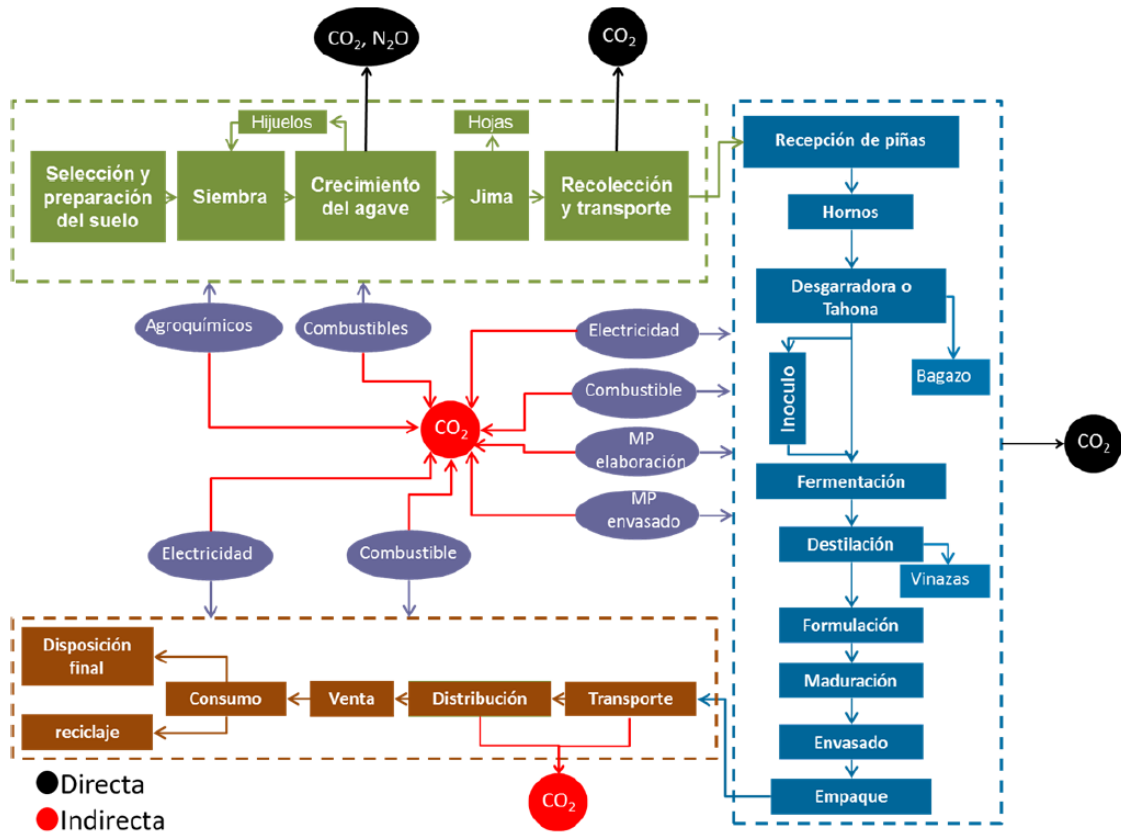


Figura 22, Análisis de ciclo de vida de la cadena productiva agave-tequila (Estrategia de sustentabilidad de la cadena Agave-Tequila, 2016)

La figura 23, muestra diferentes aspectos del ciclo de vida de la cadena productiva de agave-tequila.

El ciclo de vida de la cadena productiva de agave-tequila donde tienen origen gases de efecto invernadero como lo es el  $\text{CO}_2$  en cada uno de los eslabones de la cadena productiva ya sea de manera directa o indirecta. Es decir; se refiere de manera directa a aquellos eslabones que son están involucrados de manera directa en la producción de este, los de manera indirecta son aquellos que no intervienen en la producción del tequila sin embargo la generación de  $\text{CO}_2$  está relacionada con alguna actividad como lo puede ser, comercialización, transporte, etc.

*Análisis estadístico:* En base al análisis de la estrategia de sustentabilidad presentado en el año 2016, se pudo llegar a determinar el desempeño de la cadena agave-tequila con datos del

2014 donde se obtuvo la siguiente información relacionada con la producción de tequila y las estimaciones realizadas por el CRT hasta el año 2021 y parte del 2022.

*Huella de carbono promedio:* Referente a los gases de efecto invernadero se tiene que la huella de carbono promedio de la cadena agave-tequila para el año base 2014 se estima que fue de 3 kg de CO<sub>2</sub> lo cual incluye las emisiones de (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) por litro de tequila a 40% de volumen de alcohol, esto se traduce en una emisión del orden de 700 mil toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes en el año 2014. El 41% de estas emisiones de gases de efecto invernadero son emitidas directamente en la cadena agave tequila, en la fase agrícola e industrial y el 59% corresponde a la producción de insumos y a la distribución y transporte del producto.

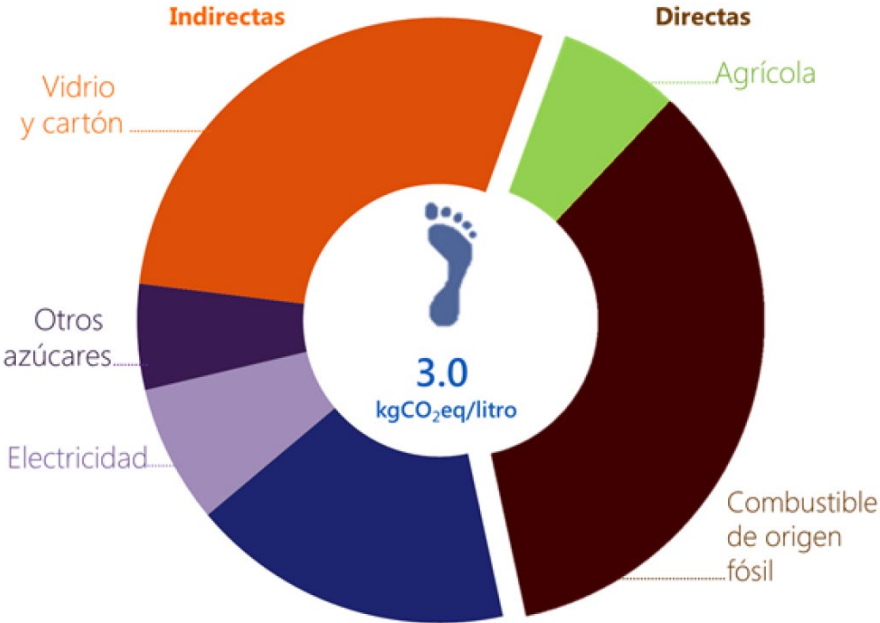


Figura 23, Huella de carbono por cada litro de tequila 40% de alcohol, (Estrategia de sustentabilidad de la cadena Agave-Tequila, 2016)

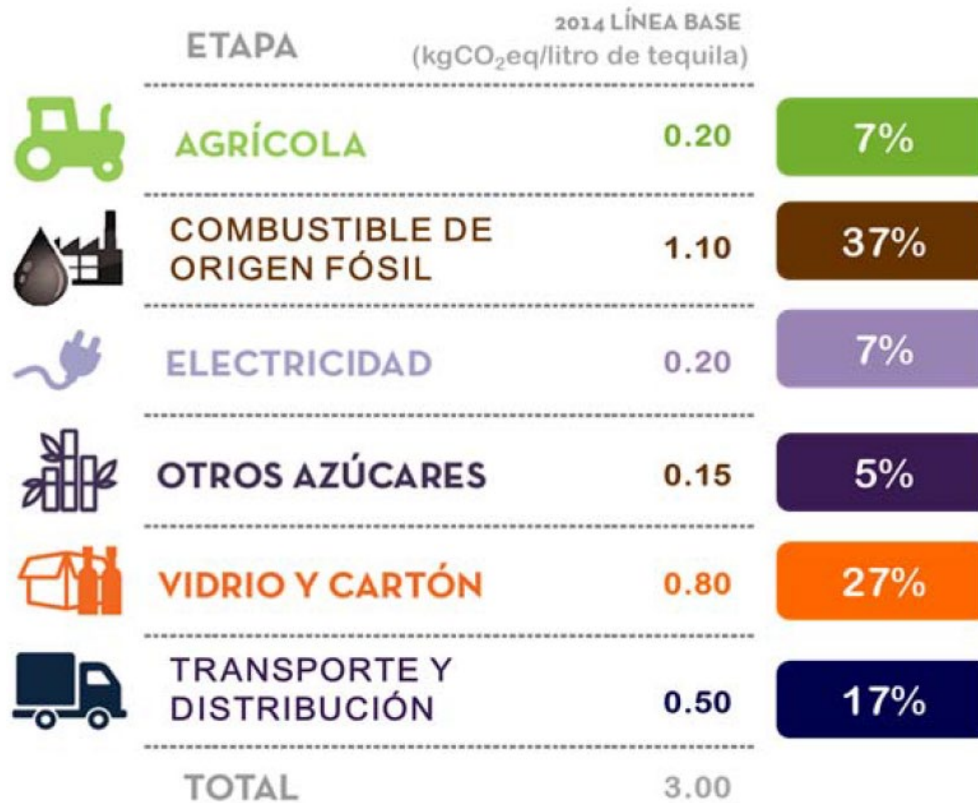


Figura 24, Huella de carbono por cada litro de tequila 40% de alcohol y principales contribuidores (Estrategia de sustentabilidad de la cadena Agave-Tequila, 2016)

La mayor contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero se debe al consumo de combustibles de origen fósil para la generación de vapor en la producción de tequila, seguida por las emisiones indirectas por la producción de la botella de vidrio y por el transporte y distribución del tequila al consumidor. En la fase agrícola la mayor contribución a la huella proviene del uso de fertilizantes nitrogenados.

#### 5.1.4. Potencial energético del bagazo de agave

En base a este análisis observamos que existe un gran potencial en términos de reducción de gases de efecto invernadero mediante el tratamiento del bagazo de agave para la producción de pellets que se utilizará como combustible de origen no fósil y que es resulta ser renovable.

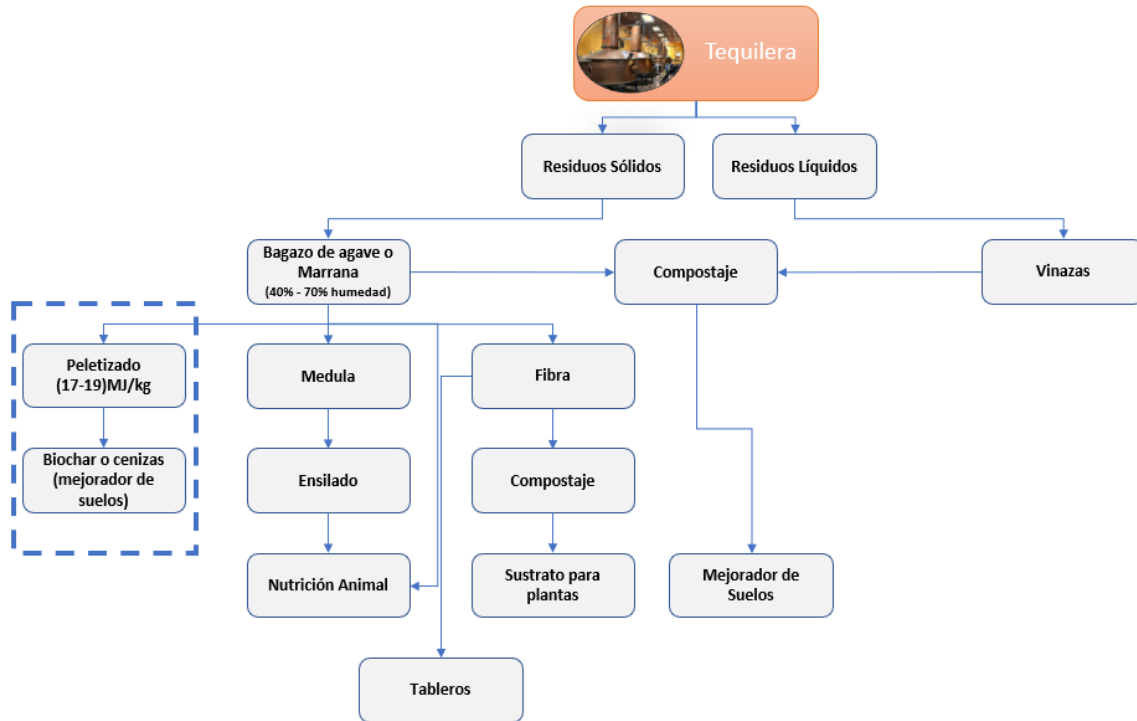


Figura 25, Manejo de residuos en la industria tequilera, autoría propia (Fuentes: reporte de resultados de las entrevistas a Biointra 2022, Manual del Técnico Tequilero, 2019)

De la figura 26, podemos observar que el tratamiento de los residuos sólidos y líquidos dentro de la industria tequilera juegan un papel fundamental dentro del manejo de desperdicios, es decir el bagazo del agave obtenido del proceso de producción de tequila dará lugar su procesamiento para la obtención de pellets de biomasa como una alternativa para reducir los GEI al ser utilizado como combustible en las calderas de biomasa.

La Biomasa es una fuente sostenible de energía con un alto potencial para sustituir combustibles de origen fósil para la generación de electricidad y para procesos de generación de calor mediante su combustión.

conglomerados de industrias. Las variables para definir esos conglomerados fueron: consumo neto de energía, número de empresas y cercanía entre ellas.

Conglomerado Industrial <sup>c</sup>	Demanda Energética (TJ)	Potencial Actual (TJ)		Fuente de Biomasa
		200 km	50 km	
Jalisco	5,834	7,644	6,755	Bagazo de Agave 11,348 TJ <sup>b</sup>
<b>Cobertura Energética</b>				
	195%	131%	116%	
<b>Demanda Energética - Industria Tequilera</b>				
Ind. Tequilera <sup>a</sup>	2800	273%	241%	405%

<sup>a</sup> demanda energética en 2014

<sup>b</sup> Datos del CINAM 2017

<sup>c</sup> Las variables para definir esos conglomerados fueron: consumo neto de energía, número de empresas y cercanía entre ellas.

Tabla 3, Disponibilidad de biomasa proveniente del bagazo de agave, demanda energética del conglomerado industrial en el Estado de Jalisco y la Industria Tequilera, relación de proporciones autoría propia (Fuente: CINAM, 2017, centro de investigaciones Mario Molina en conjunto con el Consejo Regular del Tequila, 2016).

De la tabla 3, podemos analizar que el potencial de energía que representa la biomasa como combustible renovable proveniente del bagazo del agave es en relación a la demandada por el conglomerado industrial en Jalisco y la industria tequilera es en razón de 1:4 en el caso más amplio lo cual nos confirma que existe suficiente biomasa proveniente del bagazo del agave que transformado en forma de pellets que puede suplir la demanda energética proveniente de combustibles de origen fósil como el combustóleo y el gas natural mediante el uso de calderas ecológicas o de biomasa para incorporarlas a la industria tequilera como parte de la inserción de un modelo económico sustentable como lo es el de económica circular en el Estado de Jalisco.

En términos como fuente de biomasa disponible observamos que es factible cubrir la demanda energética en la producción de tequila ya que en la cadena de vida de este solo represente el 37% del gasto energético, considerando que por cada kilogramo de pellet obtenemos de 17-19 MJ de energía, determinaremos su equivalencia en peso en base a la estadística recabada del Consejo regulador del Tequila para estimar la equivalencia, tomando como base los 2,800 TJ requeridos en el 2014 como fuente de energía para cubrir la cadena de vida del Tequila y su incremento promedio en términos de consumo de agave para la producción de Tequila 100% y Tequila.

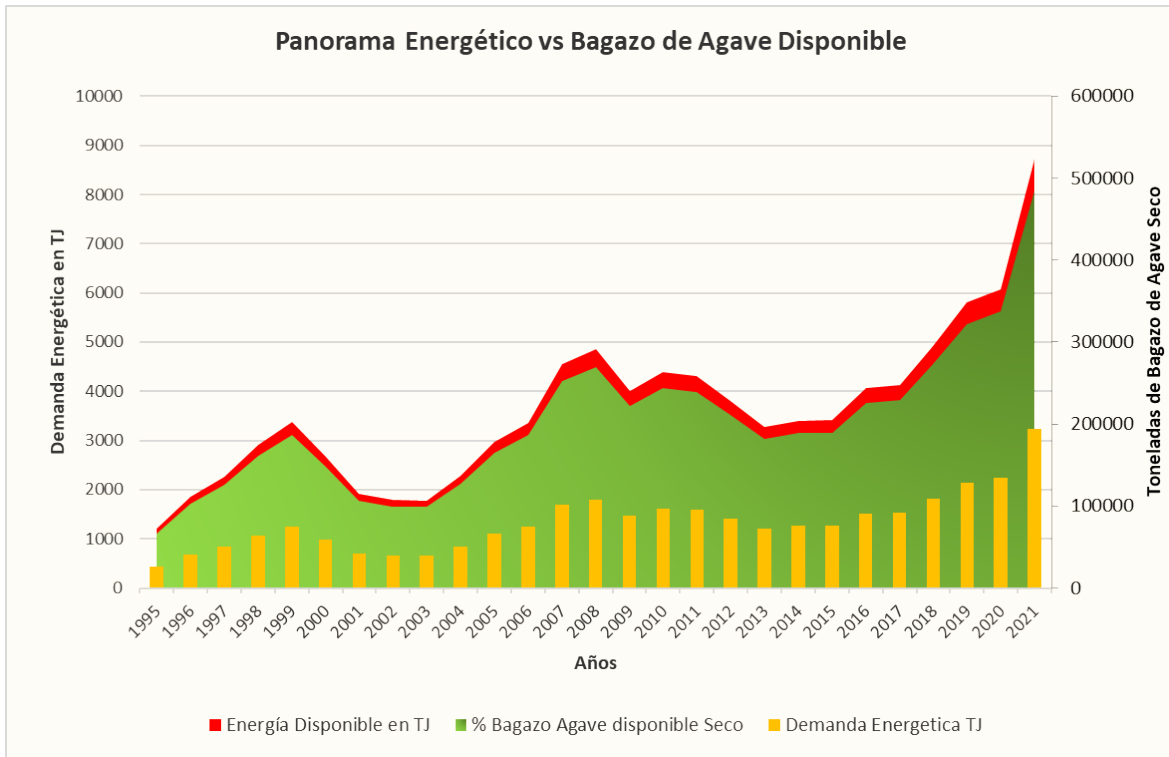


Figura 26, Demanda de agave para la producción de tequila, estimación de demanda energética 37% solo producción y energía disponible, autoría propia (Fuentes: Consejo Regulador del Tequila y el Centro de Investigaciones Mario Molina).

En base a la huella de carbono determinada mediante la investigación realizada en colaboración entre el Centro de Investigaciones Mario Molina y el Consejo Regulador del Tequila en base a históricos se ha determinado la huella de carbono basado en la producción de tequila 100% y tequila con un volumen del alcohol al 40% lo que basado en las estadísticas recabadas nos arroja los siguientes datos, como se muestra en la figura 28.

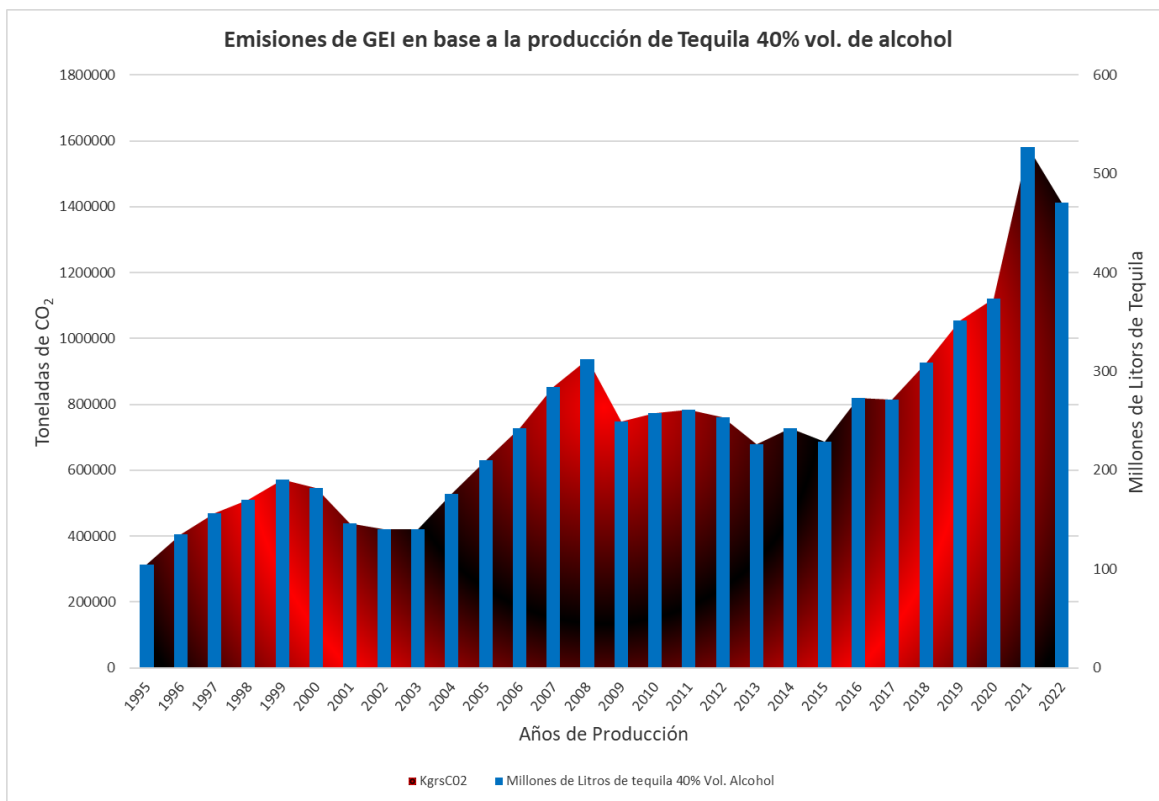


Figura 27, Emisión de CO<sub>2</sub>, versus la cantidad de millones de litros de tequila producido con un vol. De alcohol al 40%, autoría propia (Fuentes: Consejo Regulador del Tequila y el Centro de Investigaciones Mario Molina).

Para hacer es un ejercicio pedagógico estamos hablando de que el año 2021 fue un histórico en términos de producción de tequila lo que representó emisiones de CO<sub>2</sub> del orden de 1'581,000 Toneladas, considerando que la ciudad de Guadalajara genera en promedio 1,800 toneladas de basura diaria, hablamos de que si utilizáramos como combustible, la biomasa para la producción de tequila proveniente de fuentes renovables en la cadena de vida del Tequila tendríamos que la ciudad de Guadalajara dejaría de preocuparse por basura municipal diaria generada por 2.4 años un dato excepcional en términos de perspectiva de la generación de residuos sólidos.

Si solo consideramos la parte proporcional mostrada en la figura 28, donde solo tomamos como referencia la parte proporcional al uso de combustibles de origen fósil para la producción del tequila lo que representa un 37% de la cadena de vida del tequila estaríamos hablando de que la ciudad de Guadalajara dejaría de recolectar basura diaria municipal por 1.5 años, es decir el combustible utilizado en el proceso de producción de tequila es muy

elevado en términos comparativos con la cantidad de basura generada en la ciudad de Guadalajara.

### 5.1.5. Tratamiento del bagazo de agave

La biomasa es un combustible renovable considerado CO<sub>2</sub>-Neutro, es decir; con respecto al balance de gases de efecto invernadero. Sin embargo, esto no es una realidad cuando no somos capaces de alcanzar bajos niveles de emisión debido a un proceso de combustión incompleto. Y por supuesto sin considerar los consumos de combustible de origen fósil en la cadena del tratamiento de la biomasa tales como, procesos logísticos, cosecha, transporte, compactado, etc.

Sin embargo, no sería posible el utilizar este combustible renovable proveniente del bagazo de agave si no consideramos los procesos para llevar a cabo el peletizado de este desperdicio para utilizarlo como combustible para calderas ecológicas.

Una Planta de producción de pellets es un proceso compuesto por diferentes pasos que permiten tener la materia prima adecuada para su elaboración. A continuación, se describen los pasos de una planta de producción de pellets específica para el agave:

**Materia prima:** Se considera al bagazo provenientes de las diferentes tequileras de la zona, que llegará con humedad del 50% al 70% dependiendo del proceso de elaboración del tequila (cuando la extracción se realiza comúnmente con una combinación de desgarradora y un tren de molinos de rodillos la humedad ronda 50%; aún existen casos excepcionales donde la extracción de los azúcares se realiza en Tahonas y actualmente, es común el uso de difusores que hacen más eficiente esta operación pero agregan más humedad al bagazo).

- a) **Pre-secado:** La marrana o bagazo tiene que ser pre-secado mediante prensado con el propósito de reducir el agua en exceso y poder ser reducido a un tamaño lo suficientemente uniforme y pequeño para poder ser pasado al secado con aire caliente en un trombel. La norma general es que el tamaño de la partícula ha de ser menor que los orificios de la plantilla existente en la peletizadora. El material se pasará por un molino de navajas que permita reducir la longitud de la fibra y evitar se aglomere, y posteriormente se envía al secado definitivo.

**Transporte de material de una máquina a otra:** Una vez que se concluye el proceso de reducir el tamaño del bagazo hasta cubrir los requerimientos y necesidades del material, las partículas trituradas se transportan al siguiente proceso que puede ser secado, triturado, o simplemente directo a la peletizadora. Para mover el material disponemos de tubos y extractores, conveyor de banda, conveyor de tornillo y elevadores tipo canastilla.

- b) **Secado:** Para producir pellets de alta calidad la humedad de la materia prima utilizada debe de ser siempre hablando en términos generales entre el 10 y 20%. Casi todos los pellets de alta calidad que se producen en el mundo con materiales conocidos tienen un porcentaje en el momento de realizar el peletizado con una humedad entre el 10 y el 15%.



Figura 28, Trombell de secado de tres pasos de la marca Novapellet (Biointra 2022).

- c) **Refinado:** Esta etapa tiene como objetivo la homogenización y disminución del tamaño de la materia prima un tamaño de partícula homogéneo que estabiliza el proceso de peletización (estabilidad de alimentación, reduce el desgaste variación de presión sobre los rodillos) y mejora la calidad del pellet.

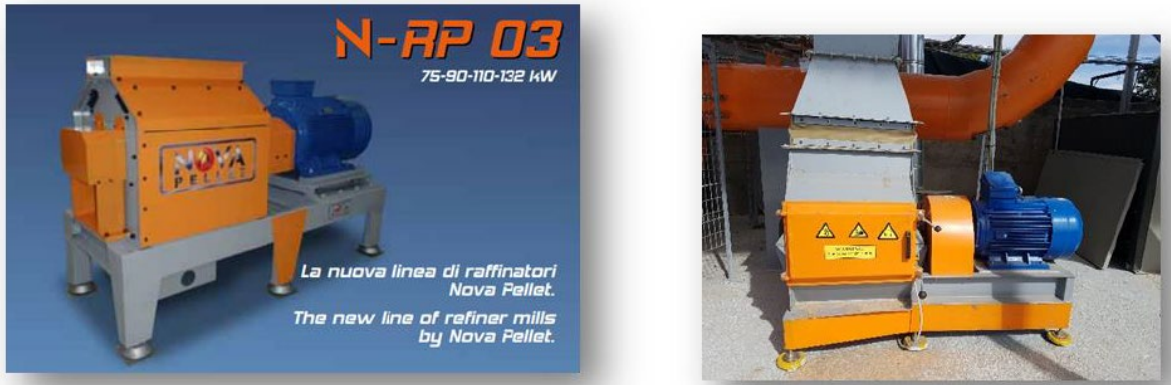


Figura 29, Refinadora de la materia prima (Biointra 2022).

- d) **Peletizado:** El proceso de peletización se lleva a cabo mediante un sistema de rodillos cilíndricos que rotan sobre el interior de una matriz anular giratoria generando presión sobre un manto de materia prima, forzando el flujo de la biomasa a través orificios entre 6 y 8 milímetros. En la descarga a través de los orificios la biomasa se compacta y la velocidad de rotación de la matriz anular determina la longitud del pellet, recomendándose un máximo de 4 veces el diámetro (24/30 mm aprox.). El proceso puede no llevar ningún aditivo ya que el bagazo de agave al igual que la madera libera una sustancia denominada lignina que actúa como aglutinante. La lignina es un polímero amorfo que actúa como material termoplástico con un punto de transición vítrea en un rango muy amplio de temperatura dependiendo del método de extracción, el contenido de humedad y el tratamiento térmico.

Los equipos de peletizado de Novapellet cuentan en su portafolio de productos con modelos con capacidad de 100 kg/hora hasta 12 toneladas/hora de pellet propuestos para la industria del tequila.

Se describe a continuación uno de los que serán más utilizados en la industria del tequila:



Figura 30, Peletizadora de diferentes capacidades N-Plus (Biointra 2022).

### **Características generales de la máquina de pellets N-Plus:**

- Granulación de la máquina con el funcionamiento mecánico y eléctrico del sistema
  - Control y gestión a través de Siemens PLC y pantalla táctil
  - Cabina eléctrica con modem de conexión remota.
  - Ajuste de rodillos de presión manual (que permiten la compresión de la rotación del extrusor)
  - Sistema de carga de polvo de aserrín se compone de un mini silo de acero inoxidable y un tornillo (regulado por un invertidor conectado a la carga muerta).
  - Longitud de agujeros de compresión de la matriz 14 a 50 mm, variable en función de la materia prima a peletizar (aserrín u otros materiales o residuos agrícolas).
  - Sensor de nivel mecánico instalado en el tanque de carga de material
  - Lubricación con grasa automática de rodillos prensadores y mandril
  - Lubricación manual de grasa para el motor
  - Seguridad eléctrica
  - Conectable para el polvo y la línea de succión del vapor
  - Manual de instrucciones y certificado de conformidad comunidad europea
- e) **Enfriamiento:** los pellets son enfriados y clasificados para su posterior embolsado.



Figura 31, Tolva para el proceso de enfriamiento del pellet (Biointra 2022).

- f) **Embolsado:** Una vez enfriados y clasificados, los pellets deben ser almacenados para su posterior comercialización, pudiendo seleccionarse entre operaciones que involucren productos embolsados o a granel. Los envases definidos para la industria son grandes bolsas con capacidades de 500 a 1000 Kg.



Figura 32, Tolva para el proceso de embolsado del pellet (Biointra 2022).

- g) **Almacenado:** El almacenamiento del producto terminado requiere de condiciones controladas de humedad, de forma tal de que el producto terminado no pierda sus

cualidades, para el caso concreto del proyecto será en grandes silos flotados y a granel para de ahí ser trasladado a los usuarios finales.



Figura 33, Tolva para el proceso de almacenaje del pellet (Biointra 2022).

Es importante considerar que este proceso de peletizado conlleva una coordinación de trabajo que debe de ser bien planeada con las empresas tequileras a fin de evitar que el bagazo del agave comience a degradarse por la gran cantidad de humedad que contiene este residuo solido que oscila del 50% al 70% por tratamiento inadecuado y/o expuesto en patios después de salir del proceso de producción de tequila donde las condiciones ambientes juegan un papel fundamental para el inicio de la degradación del mismo.

Sin embargo, es importante considerar que se requiere personal calificado para realizar las actividades anteriormente descritas en toda la cadena de suministro de los pellets de biomasa, ello incluye desde la recolección de bagazo de agave que es dispuesto en patios para su recolección después de que las piñas de agave fueron cocidas y pasado por el proceso de molienda donde se extrae el jugo de estas para continuar con la producción de Tequila 100% y Tequila.

### 5.1.6. Impacto social por la implementación de calderas de biomasa

Es por ello por lo que en términos de impacto social para la región se contempla lo siguiente.

- a) Con cada **planta de pellet** se estarán generando un total de 39 empleos. Siendo 10 empleos formales por cada línea de producción de 4 toneladas/hora dando un total de 30 empleos en una planta con capacidad de producción de 12 toneladas/hora, de los cuales se tienen los siguientes perfiles, 4 de administración y 5 de logística. De los 39 empleos; 7 de ellos requieren un nivel de estudio de licenciatura, 14 de nivel técnico industrial y 18 obreros.

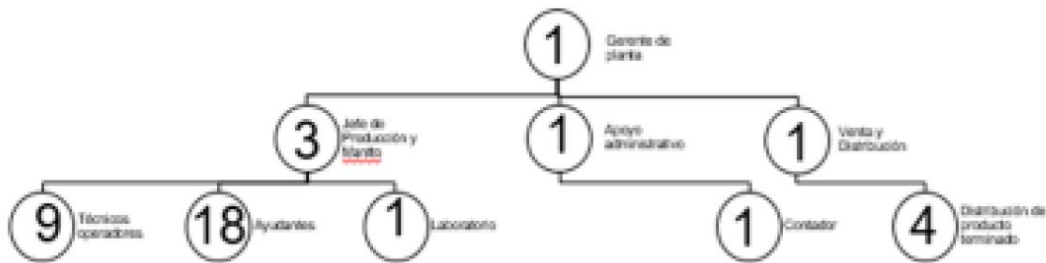


Figura 34, Estructura Organizacional para planta peletizadora (Biointra 2022).

En base a los datos técnicos podemos estimar la producción estimada en días basado en la cantidad de bagazo de agave disponible y de datos históricos.

Es decir; en la figura 35 se observa que existe un incremento en la demanda de tequila 100% y tequila a través de los años lo cual se traduce en un incremento en la cantidad de bagazo de agave por lo que la capacidad instalada en términos de peletizado debe de incrementarse, en esta figura es un supuesto de iniciar a procesar el bagazo de agave acumulado de un año tras otro sin embargo en base a información limitada sobre la producción diaria aunque se puede estimar se contempla que para lograr satisfacer la necesidad de procesamiento del bagazo de agave en el 2021 consideramos sería insuficiente dicha capacidad, por lo que puede que parte de este bagazo de agave este siendo utilizado para otros fines como los mencionados previamente.

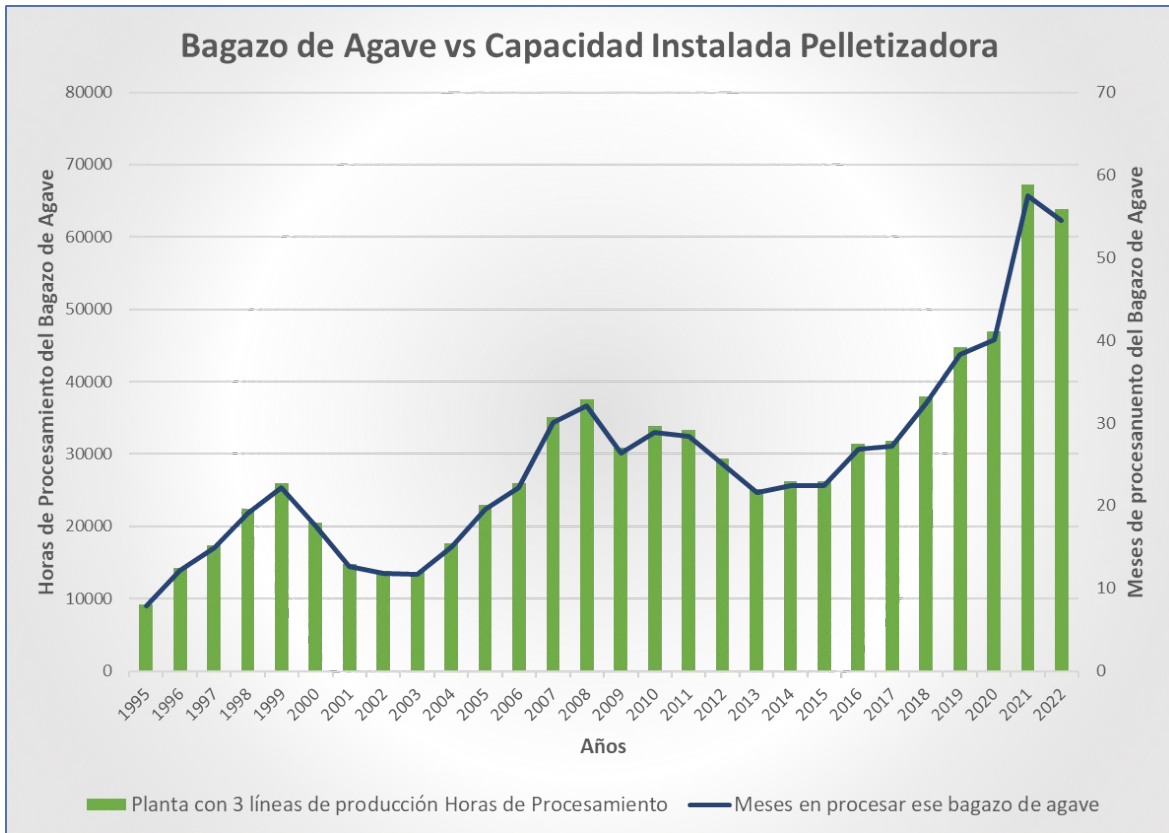


Figura 35, En base a la capacidad instalada son los meses de procesamiento del bagazo de agave, autoría propia (Fuentes: Consejo Regulador del Tequila y el Centro de Investigaciones Mario Molina).

Mas sin embargo es importante hacer notar que estos datos lucen atractivos para realizar inversión extranjera en conjunto con proyectos subsidiados de manera conjunta con el gobierno del estado de Jalisco, basado en el potencial energético del bagazo de agave, la demanda del tequila 100% y tequila a nivel global y por consiguiente el alto porcentaje que representa este residuo de las piñas de agave sujeto a ser utilizado de manera sustentable en un portafolio de subproductos de los cuales el de enfoque primordial de este trabajo de investigación en los pellets de biomasa a partir del bagazo de agave.

### **5.1.7. Impacto ambiental por la implementación de calderas de biomasa**

La figura 36, representa un panorama general de los beneficios ambientales y económicos en términos de rentabilidad para la industria tequilera que muestra los ahorros por el cambio en tecnología y la utilización de biomasa como un recurso energético renovable utilizado como combustible y de mayor importancia en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por la combustión de este en forma de pellets de biomasa producidos a partir del desperdicio de la agave en forma de bagazo. Esto es sin duda un modelo económico sustentable donde pudimos observar que el objeto de estudio de este TOG resulta muy importante y de alta relevancia para el sector agrícola donde se obtienen desperdicios de este cultivo como lo es el agave y puede ser replicado a otros cultivos como se mencionó previamente.

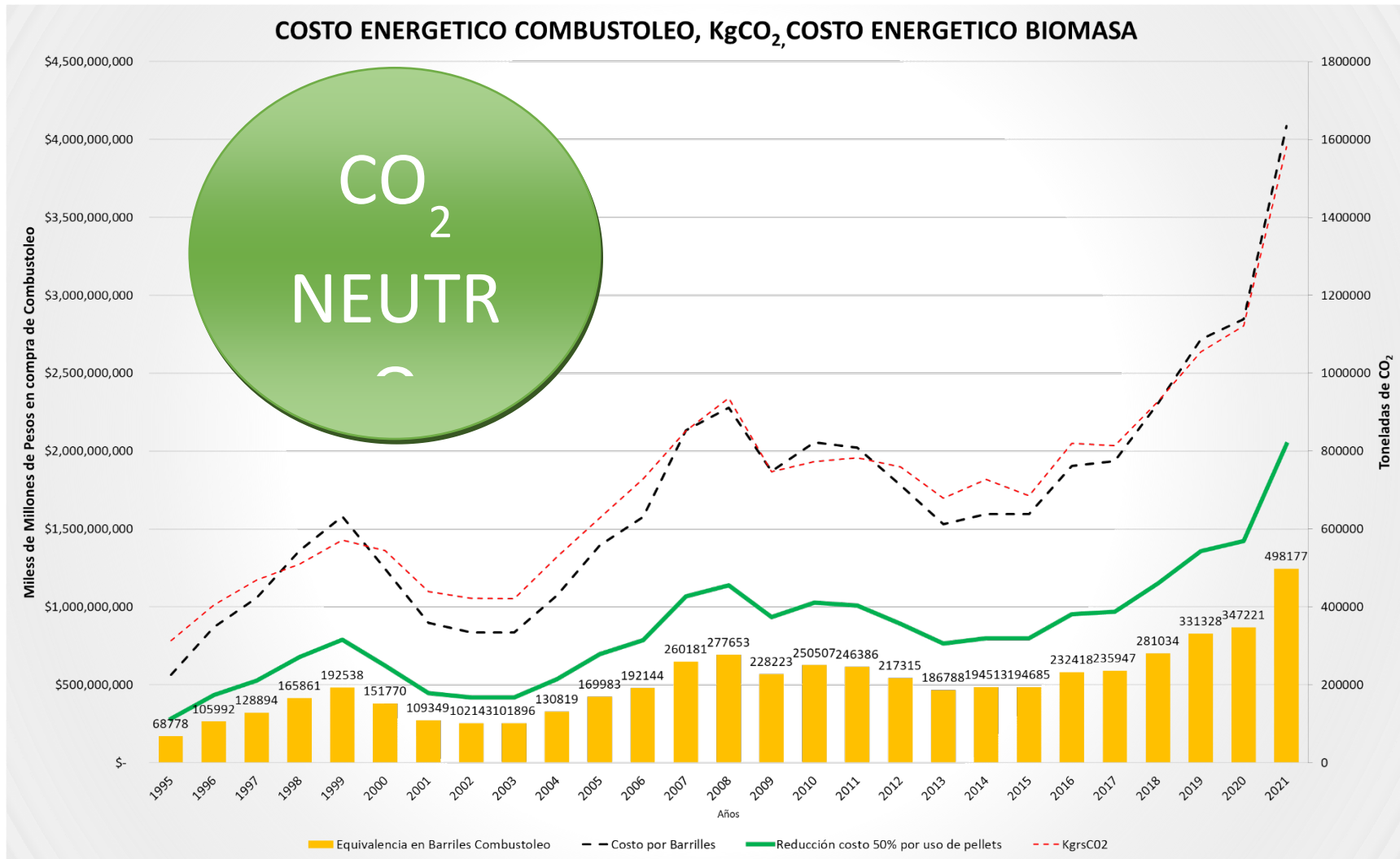


Figura 36, Comparativa, costos por uso de combustóleo, biomasa, gasto energético en barriles de combustóleo, autoría propia (Fuentes: Consejo Regulador del Tequila y el Centro de Investigaciones Mario Molina, Petróleos Mexicanos, secretaria de Energía).

### 5.1.8. Modelo de economía circular: beneficios, aplicación e impacto dentro de la cadena de la industria tequilera

En términos de sustentabilidad este modelo de negocio tiene influencia directa en los siguientes aspectos:

- **Mejora en las condiciones sociales** de la región impulsando el conocimiento y la generación de empleos.
- **Impacto positivo medioambiental** de gran relevancia en la reducción de CO<sub>2</sub> en el orden de miles a millones de toneladas de este contaminante.
- **Reducción de costos** en la cadena de vida del tequila mediante la adopción de calderas ecológicas mediante el uso de pellets de biomasa producidos del residuo sólido obtenido del mismo agave.
- **Reincorporación de los residuos** del proceso de la combustión de biomasa como lo son las cenizas al subsuelo que funcionan como fertilizantes orgánicos donde no existe la emisión de CO<sub>2</sub> al ser derivados de productos naturales.

Es importante plasmar de manera gráfica como sería el modelo de economía circular aplicado a la cadena de vida del tequila, al proceso de producción y finalmente al manejo de desperdicios dentro de la industria tequilera, esto ha sido desarrollado mediante la investigación de campo, las entrevistas y pláticas con expertos de la empresa Biointra, revisión de literatura y fuentes adicionales de información.

En primera instancia no debemos de olvidar que dentro de las funciones del manejo de desperdicios dentro de la industria de la agricultura juegan un papel fundamental para entender las distintas etapas que existen y realizar un análisis exhaustivo para poder identificarlas dentro de esta industria. Las funciones que comprenden el manejo de desperdicios dentro de la industria de la agricultura son:

- **Producción:** La producción es función de la cantidad y naturaleza del desperdicio de la agricultura generado por la empresa agricultora.
- **Recolección:** De los desperdicios iniciales del proceso de agricultura en este caso las pencas de agave.

- **Transferencia:** Clasificación del desperdicio y un plan de manejo de este basado en las características de este.
- **Almacenaje:** Esta depende del tipo de desperdicio y pueden ser estanques, estructuras.
- **Tratamiento:** Procesamiento del desperdicio para obtener el subproducto final, como puede ser reducción de humedad, contaminación por tierra, etc.
- **Utilización:** Dependiendo de la naturaleza de este si es sólido, líquido puede utilizarse en este caso para fabricación de pellets de biomasa del bagazo del agave.

Todas ellas las identificaremos dentro de la cadena de vida del tequila, y el proceso de producción.

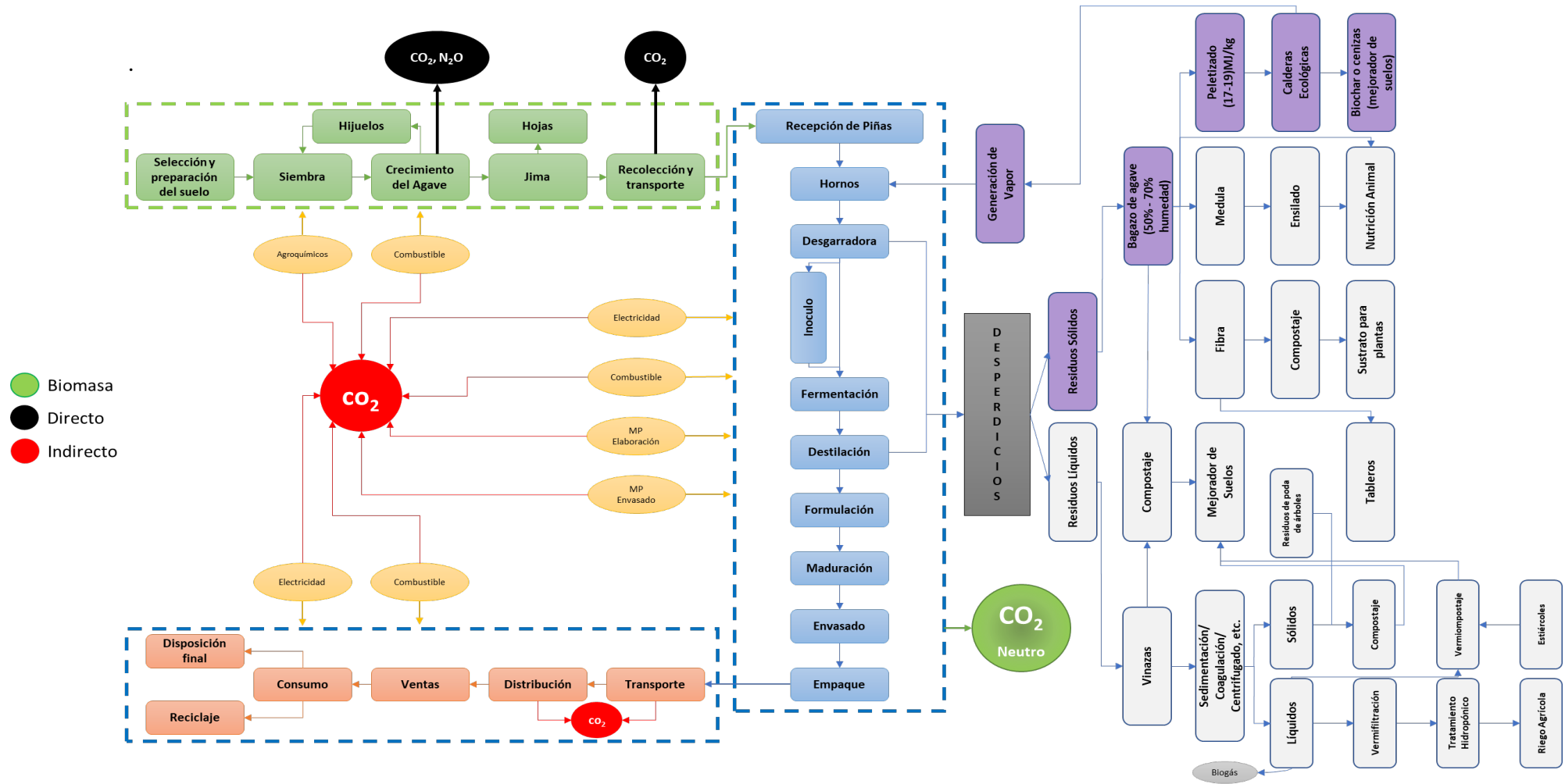


Figura 37, Cadena de vida de tequila y circularidad en términos de utilización de desperdicios como fuente de biomasa para calderas ecológicas, autoría propia (Fuentes: CRT, Centro de Investigaciones Mario Molina, Petróleos Mexicanos, secretaria de Energía, Biointra, Handbook of solid waste management).

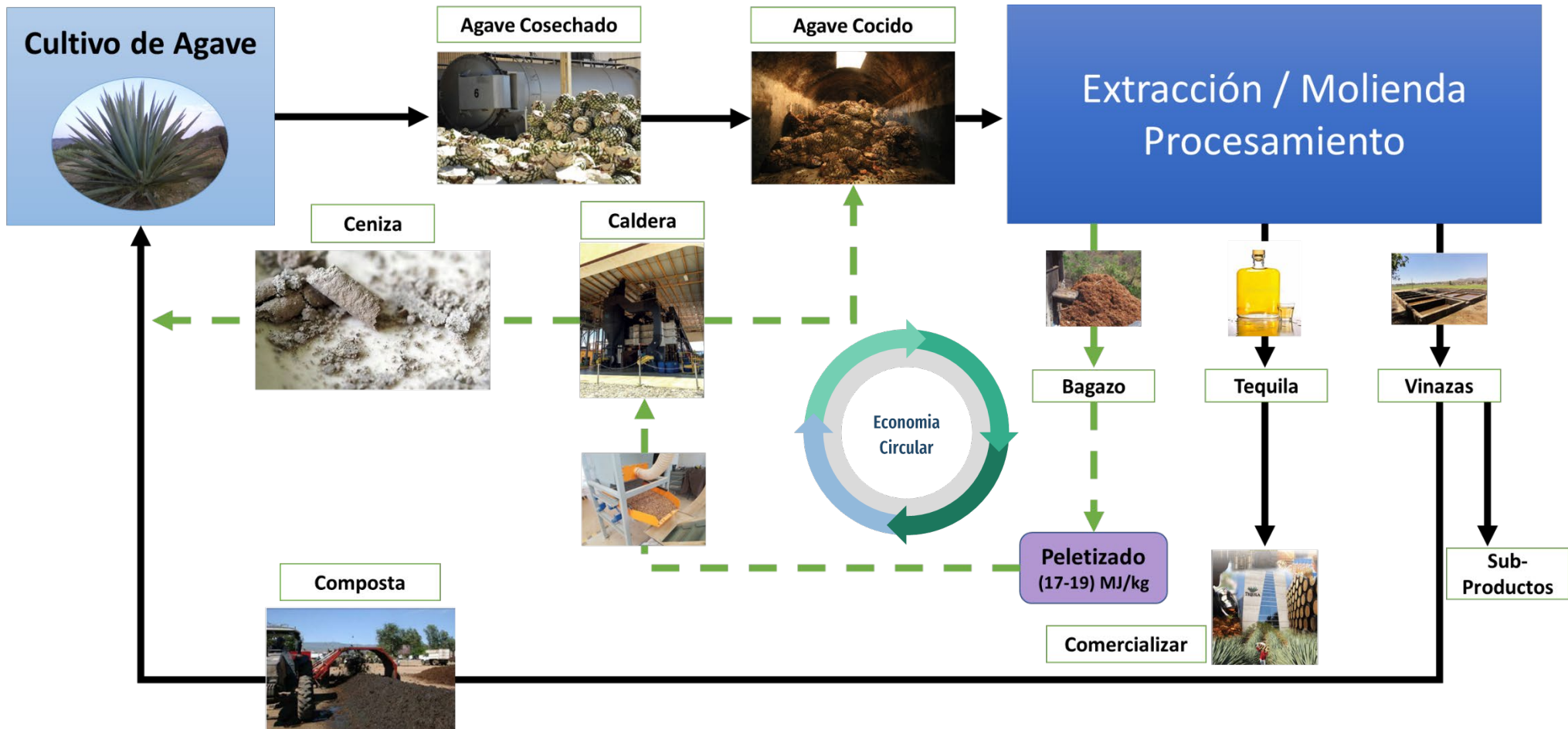


Figura 38, Cadena de vida de tequila y circularidad simplificado en términos de utilización de desperdicios como fuente de biomasa para calderas ecológicas, autoría propia (Fuentes: CRT, Centro de Investigaciones Mario Molina, Petróleos Mexicanos, secretaria de Energía, Biointra, Handbook of solid waste management)

En la figura 38, podemos encontrar la cadena de vida del tequila y de circularidad aplicada a la industria tequilera donde podemos observar la complejidad del proceso productivo, los generadores principales de gases de efecto invernaderos como los desperdicios agrícolas generados dentro de dicho proceso.

Dicha cadena de vida incluye la parte productiva que es principalmente donde inicia el cultivo del agave, la segunda etapa donde tenemos el proceso de producción de este, y donde seguido del proceso de desgarramiento de las piñas cocidas se tiene una salida como el primer desperdicio sólido seguido de las vinazas como un desperdicio líquido del proceso de destilación, de ahí viene la clasificación de los mismos, donde ha iniciado el ciclo de circularidad donde el desperdicio sólido se toma como input para iniciar el proceso de tratamientos de este residuo para ser transformado en pellets de la biomasa como lo es bagazo de agave que pasa por una serie de procesos y tratamientos hasta adquirir las características deseadas y necesarias para poder llevar a cabo el proceso de almacenamiento y por consiguiente ser utilizado como combustible de origen no fósil en las calderas ecológicas que darán lugar a energía calorífica para ser generar vapor a alta presión u temperatura para el proceso de cocimiento de las piñas de agave crudas.

En esta sección es donde inicia el ciclo de circularidad que se aplica dentro de la industria tequilera, finalmente viene la parte de comercialización. Sin embargo otro punto importante es considerar los procesos donde se generan los GEI de manera directa que son los que podemos controlar en una mayor proporción, los generadores de manera indirecta son procesos donde los controles no son parte de este TOG, el principal generador de CO<sub>2</sub> se encuentra en el proceso de producción en las calderas de combustóleo utilizadas en la mayoría de las tequileras y como el cambio calderas ecológicas reducirá en un 37% las emisiones de GEI lo cual tiene un impacto significativo para evitar la degradación del medio ambiente, contribuir de manera positiva en la reducción del uso de combustibles de origen fósil no renovables y de manera directa en las condiciones sociales de la región en términos de la reducción de contaminación y la mejora en el bienestar social de las familias, traducido en la generación de empleos y el desarrollo de nuevas habilidades técnicas que les permitan ser más competitivos en un mercado laboral más complejo.

La figura 38, muestra la cadena de vida del tequila y de circularidad simplificado como parte de mostrar con mayor claridad donde toma lugar el proceso de circularidad dentro de toda la cadena de vida del tequila incluyendo los desperdicios generados por esta. La línea verde segmentada indica la circularidad dentro de esta industria y como los residuos sólidos de este combustible de origen no fósil como lo son los pellets de biomasa generados utilizando el bagazo de agave al ser parte del proceso de combustión y su residuo en forma de cenizas serán reincorporados al subsuelo como fertilizante orgánico para el cultivo del agave y otros.

## **5.2. Impacto de la investigación**

En el panorama energético en términos de la utilización de Biocombustibles y/o la generación de Bioenergía a través de compuestos orgánicos en México, existe una gran oportunidad de ser participe a nivel global como una Nación en la cual el desarrollo de este sector energético puede ser clave para la reducción de gases de efecto invernadero, el agotamiento de los recursos naturales derivados de hidrocarburos y el efecto en el cambio climático. Estudios han demostrado que las reservas energéticas en términos de la utilización de bagazo de agave como fuente de biomasa para proveer la energía necesaria para el desarrollo de clústeres industriales en el estado de Jalisco se encuentra disponible y al alcance de ser utilizada, en base a las estimaciones realizadas en este trabajo de obtención de grado se ha corroborado que el uso de la biomasa de agave es un recurso energético suficiente en términos calóricos y de volumen para proveer a la industria tequilera y dejar de lado el uso de combustibles de origen fósil altamente contaminantes como lo es el combustóleo, es por ello que la incorporación de un modelo económico circular resulta viable para dicha industria, lo que no solamente resulta redituable en términos:

- a) económicos
- b) social
- c) ambiental

En términos económicos la sinergia entre el sector privado y estado resulta para la industria tequilera un ahorro del 50% en la utilización del uso de combustóleo y la sustitución mediante el uso de bagazo de agave en forma de pellets de biomasa que engloba costos operación de

calderas, reflejados en términos de mantenimiento, refacciones, cambio de tecnología, etc., y no solo en este aspecto resulta relevante, de igual manera en términos sociales este cambio en la utilización de bioenergía resulta impactante en el aspecto social en términos de generación de empleos y en la reestructuración de la cadena de suministro donde Biointra funge como actor principal en el generación de energía a través de pellets de biomasa obtenidos del residuo sólido del bagazo de agave y es suministrada a la industria tequilera donde esta última asume la responsabilidad total de las operaciones de las calderas ecológicas y del tratamiento de residuos sólidos generados por esta industria. Finalmente el impacto en términos ambientales es significativo ya que dentro del balance de gases de efecto invernadero las emisiones por la combustión de biomasa resultan despreciables lo cual potencializa su uso y los efectos en la reducción de emisiones CO<sub>2</sub> como lo fue en el 2021 de alrededor de 1'600,000 Toneladas de este contaminante generados por la industria tequilera, estimaciones realizadas en base a los estudios realizados por el centro de investigaciones Mario Molina y el Consejo Regulador del Tequila.

## **CAPITULO 6**

### **6. Discusión final**

El modelo de economía circular comprende dos tipos de ciclos los técnicos y los biológicos, en este trabajo de investigación para la obtención de grado se analizó el ciclo biológico que comprende aquellos materiales que son biodegradable. La industria tequilera genera dos tipos de desperdicios que son sólidos y líquidos, para este trabajo de investigación nos enfocados en el sólido como lo es el bagazo de agave y en base a ello se parte de los tres principios de economía circular para diseñar procesos y materiales circulares con la finalidad de eliminar los residuos y la contaminación, productos y materiales circulares (en su valor más alto), y finalmente que ayuden a regenerar la naturaleza. Los resultados obtenidos de la investigación cualitativa con un enfoque interpretativo de los datos recabados de la investigación de campo en donde una serie de entrevistas con la empresa Biointra Renovables empresa que participa activamente con el sector gubernamental del estado de jalisco y el sector tequilero en la región de Tequila, Jalisco, México, aunado a la información recolectada de la literatura existente, en revistas con arbitraje internacional, libros, textos, y distintos medios de comunicación permitido llevar a cabo una interpretación y análisis de los datos para un estudio de caso donde la los resultados arrojan la relevancia de aplicar el modelo de economía circular en dicho sector.

#### **6.1.Líneas para futuras investigaciones**

A través del análisis de datos realizado en esta investigación podemos encontrar líneas de investigación que se desprenden de este tema general y que pueden resultar una guía para futuros trabajos de obtención de grado ya sea en la modalidad de intervención con alguna empresa del sector tequilero o inclusive como investigación cualitativa o cuantitativa, algunos de los temas relevantes pueden ser los siguientes:

- a) Modelo de economía circular aplicado a la producción de café verde.
- b) Modelo de economía circular aplicado a la industria azucarera mediante el residuo como lo es el bagazo.

- c) Influencia del porcentaje de humedad en los pellets de bagazo de agave en el proceso de combustión en calderas.
- d) Potencial calorífico de los pellets del bagazo de agave y su utilización en la generación de energía en otros sectores industriales.
- e) Huso de los pellets en procesos de deshidratado.
- f) Uso de pellets para bagazo de agave para calefacción de edificios, etc.

## **6.2.Relevancia y trascendencia disciplinaria de la investigación**

El sector tequilero en el Estado de Jalisco desempeña un papel primordial en su economía y continua en crecimiento, por lo que la relevancia y pertinencia de esta investigación tiene una trascendencia de importancia por la cantidad de residuos que se generan del bagazo de agave y en base a los estudios realizados el exceso de pellets de biomasa pudiese ser utilizado en otros sectores industriales. El conocimiento generado a través de este trabajo de investigación permite una colaboración más cercana con el sector gubernamental, privado y academia.

## CONCLUSIONES

Es una gran satisfacción en primera instancia de manera personal y como segundo caso profesionalmente visualizar y confirmar que la inserción de un ecosistema circular es factible en la Industria Tequilera en el Estado de Jalisco, por lo que este sector representa para el desarrollo económico del estado, el impacto ambiental del paisaje agavero, la cadena productiva del tequila y un detonante en la región de Tequila, Jalisco que se traduce en un bienestar para la sociedad. En primera instancia en toda organización donde se genera algún bien o servicio se busca que las fuentes primarias posean suficientes reservas naturales y evitar su agotamiento, con ello se asegura la sostenibilidad de la organización, por otro lado encontramos que este modelo resulta ser regenerativo para la naturaleza y reduce la huella de carbono de la industria tequilera en alrededor del 37% generado en el proceso de producción del tequila donde se utiliza combustóleo como combustible en su proceso productivo, donde el principal residuo sólido de la industria tequilera es el bagazo de agave, que bajo distintos procesos es tratado, pelletizado y reincorporado al proceso de producción del tequila como combustible para calderas ecológicas que sustituyen las actuales que utilizan derivados de hidrocarburos, para finalmente estas cenizas resultantes del proceso de combustión de los pellets sean reincorporarlos a la naturaleza en forma de cenizas que funcionan como abono orgánico y evitan el agotamiento de los recursos naturales.

- Los beneficios económicos para la organización por la sustitución del uso de calderas no ecológicas, es decir; aquellas que utilizan combustóleo como combustible por ecológicas que utilizan biomasa para la generación de energía representa un ahorro del alrededor del 50% del costo actual como se muestra en la figura 36, del capítulo 5, además de que éstas son operadas por Biointra Renovables como parte del modelo de negocio a través de costos marginales, esto analizado mediante los datos obtenidos del consejo regular del tequila, PEMEX, Biointra Renovables y el trabajo de investigación de campo, sin dejar de mencionar los efectos positivos por la reducción de huella de carbono en la cadena productiva del tequila por el uso de este recurso renovable traducido en bonos de carbono para la empresa.
- En el aspecto ambiental el balance de emisiones de gases de efecto invernadero por el uso de calderas que utilizan combustóleo comparado con las calderas ecológicas

que utilizan como combustible la biomasa proveniente del bagazo de agave es Neutro, es decir; se considera de esta manera ya que es las emisiones por la quema de este combustible renovable es depreciable comparado con las emisiones por el uso de derivados de hidrocarburos. Otro aspecto importante es la reducción de la huella de carbono en un 37% en la cadena de suministro del tequila en base a los estudios del centro Mario Molina que se muestra en la figura 24. Además, este la inserción del este modelo circular es restaurador y regenerativo de la naturaleza ya que en este ciclo las cenizas se vuelven a reincorporar a la naturaleza como abono orgánico, evita la sobre explotación de los recursos naturales para la obtención del combustóleo como subproducto de la refinación de hidrocarburos, evita la degradación ambiental y la contaminación visual por el exceso del residuo sólido obtenido de la producción del tequila como lo es el bagazo de agave.

- Biointra Renovables al tener operaciones en la región de Jalisco, genera un bienestar social en dicha zona, ya que la logística no debe de ser un factor de alto costo económico para la empresa, por lo cual el tener infraestructura en la región genera que el capital humano sea capacitado de forma continua para los siguientes procesos:
  - Recolección y confinamiento del bagazo de agave.
  - Tratamiento del bagazo de agave.
  - Peletizado del bagazo de agave-
  - Transporte y almacenamiento de los pellets.
  - Operación de calderas ecológicas que utilizan bagazo de agave como combustible.
  - Etc.

Por cada **planta de pellet** se estarán generando un total de 39 empleos. Siendo 10 empleos formales por cada línea de producción de 4 toneladas/hora dando un total de 30 empleos en una planta con capacidad de producción de 12 toneladas/hora, de los cuales se tienen los siguientes perfiles, 4 de administración y 5 de logística. De los 39 empleos; 7 de ellos requieren un nivel de estudio de licenciatura, 14 de nivel técnico industrial y 18 obreros.

En base a ello y considerando los datos recabados de los estudios realizados por el CIAM de la tabla 3, podemos analizar que el potencial de energía que representa la biomasa como

combustible renovable proveniente del bagazo del agave es en relación a la demandada por el conglomerado industrial en Jalisco y la industria tequilera es en razón de 1:4 en el caso más amplio, lo cual nos confirma que existe suficiente biomasa proveniente del bagazo del agave que transformado en forma de pellets que puede suplir la demanda energética proveniente de combustibles de origen fósil como el combustóleo y el gas natural mediante el uso de calderas ecológicas o de biomasa para incorporarlas a la industria tequilera como parte de la inserción de un modelo económico sustentable como lo es el de económica circular en el Estado de Jalisco.

Es satisfactorio encontrar que esta investigación de alto impacto no solo tiene relevancia en México si no en distintas industrias a nivel global y puede ser adoptada por cualesquiera de ellas considerando que es un modelo económico sustentable y por consiguiente con un impacto positivo en aspectos tan relevantes como el ambiental, social y económico sin comprometer el presente y futuro de las generaciones.

## BIBLIOGRAFIA

1. Haščič, I., Migotto, M., (2015). Measuring environmental innovation using patent data. OECD Environment Working Papers No. 89., <https://dx.doi.org/10.1787/5js009kf48xw-en>
2. United Nations Environment Programme (2019). Emissions Gap Report 2019. UNEP, Nairobi.
3. OECD (2020), Environment at a Glance 2020, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/4ea7d35f-en>.
4. Saunila, M., Rantala T., Ukko J., Huvakainen, J., (2018), Why invest in green technologies? Sustainability engagement among small businesses. *TECHNOLOGY ANALYSIS & STRATEGIC MANAGEMENT*, 2019, VOL. 31, NO. 6, 653–666.
5. Wang Q., Qu, J., Wang, B., Wang, P., Yang, T., (2019). Green technology innovation development in China in 1990–2015. *Science of the Total Environment*, 696 (2019) 134008.
6. Hottenrott, H., Rexhäuser S., Veugelers, R., (2015). Organizational change and the productivity effects of green technology adoption. *Resource and Energy Economics*, 43 (2016) 172–194.
7. Wicki, S., Hansen, E.G., (2018). Green technology innovation: Anatomy of exploration processes from a learning perspective. *Business Strategy and the Environment*, 2019;28:970–988.
8. Chen S-Y. (2019), True sustainable development of green technology: The influencers and risked moderation of sustainable motivational behavior. *Sustainable Development*. 2019; 27:69–83.
9. Shaikh, ZA., (2019), Present and Future Prospective of Green Technologies. *Biological Sciences*, 2019 62B(2) 122-132.
10. Jacci, ML., Marinković, S., Rakićević, J., (2014), Sustainable Technology Entrepreneurship and Development – the Case of Serbia. *Management Journal for Theory and Practice Management*, 330.341.1(497.11); 005.342.

11. IPCC, 2018: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. *In Press*.
12. OECD, 2012. *Transitioning to green innovation and technology*. OECD Science, Technology and Industry Outlook 2012. *OECD Publishing* [https://doi.org/10.1787/sti\\_outlook-2012-en](https://doi.org/10.1787/sti_outlook-2012-en).
13. James, P., 1997. The sustainability circle: a new tool for product development and design. *J. Sustain. Prod. Des.* 2 (5), 52–57.
14. Sidkar S., (2019), Circular economy: Is there anything new in this concept?, *Clean Technologies and Environmental Policy* (2019) 21:1173–1175, <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01722-z>.
15. Jørgensen, S., Pedersen, L., J., T., (2018). RESTART SUSTAINABLE BUSINESS MODEL INNOVATION. PALGRAVE STUDIES IN SUSTAINABLE BUSINESS
16. Michael Leube & Dominik Walcher (2017) Designing for the next (Circular) Economy. An appeal to renew the Curricula of Design Schools, *The Design Journal*, 20:sup1, S492-S501, DOI: 10.1080/14606925.2017.1352999.
17. Schmidt C. et al (2020). *The Circularity Gap Report 2020*.
18. Consejo Regulador del Tequila (2019). *Manual del Técnico Tequilero*. Guadalajara, Jalisco. México.
19. Geissdoerfer, M. and Savaget, P. and Bocken, N.M.P. and Hultink, E.J. (2017) 'The circular economy \_ a new sustainability paradigm?', *Journal of cleaner production.*, 143 . pp. 757-768.
20. Colegio de Ingenieros Ambientales (2017). *Evaluación del Potencial de la Biomasa como parte de la matriz energética de México*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/314142701\\_Evaluacion\\_del\\_potencial\\_de\\_la\\_biomasa\\_como\\_parte\\_de\\_la\\_matriz\\_energetica\\_de\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/314142701_Evaluacion_del_potencial_de_la_biomasa_como_parte_de_la_matriz_energetica_de_Mexico).

21. John W. Creswell, (2014). Research Design. United States of America. SAGE.
22. Chinnappan, Baskar, et al., (2022). Handbook of Solid Waste Management. Sustainability through Circular Economy. Singapore. Springer.
23. Kumar, A., and Ram, C., (2021). Agave biomass: a potential source for production of value-added products. Environmental Sustainability (2021). <https://doi.org/10.1007/s42398-021-00172-y>
24. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la secretaria de la Convención sobre el Cambio Climático Alemania (UNFCCC) (2004). Cambio Climático Carpeta de Información (5000).
25. Secretaria de Energía (2016). Perspectiva de energías renovables. Recuperado de [Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030 \(www.gob.mx\)](http://www.gob.mx).
26. Martinez, H., E., et al., (2021), Assessing the cost of biomass and bioenergy production in agroindustrial processes. Energies (2021), 14, 418, <https://doi.org/10.3390/en14144181>
27. Garcia-Maraver, A., Perez-Jimenez, J.A. (2015). Biomass Pelletization: Standard and Production. Southhampton, UK: WIT Press.

## ANEXOS

Más de 300 definiciones sobre sostenibilidad se pueden encontrar en la literatura (Johnston et al. 2007). Sin embargo, basándose en los criterios de importancia que afectan la definición de sostenibilidad, estas fueron reflejadas de manera matemática por los ambientalistas Ehrlich y Commoner en su ecuación " $I = P \times A \times T$ ". El impacto ambiental (I) es una función de tres factores:

1. Población (P),
2. Afluencia, que es una aproximación para representar el consumo (A),
3. Tecnologías (T) (Chertow, 2001; Plebeyo, 1972; Holdren y Ehrlich, 1974).

El impacto que se considera tiene cada uno de los factores como lo es la población, el consumo, las tecnologías, así como la interrelación entre estas variables, ha variado considerablemente entre los estudiosos. Algunos enfatizan en el control demográfico (por ejemplo, Hardin, 1968), otros prefieren abogar por la reducción de los niveles de consumo (por ejemplo, Woollard y Ostry, 2000), y un número creciente de académicos destacan el papel de la ciencia, la tecnología y la innovación como un mecanismo para la inclusión social y la resiliencia ambiental (por ejemplo, Hart y Milstein, 2003; Kemp y Pearson, 2007; Cohen, 2006).

La definición más aceptada de sostenibilidad se estableció como el desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades. Esto requiere la conciliación de las demandas ambientales, sociales y económicas, también conocidos como los "tres pilares" de la sostenibilidad (WCED, 1987) como se muestra en la figura 40.

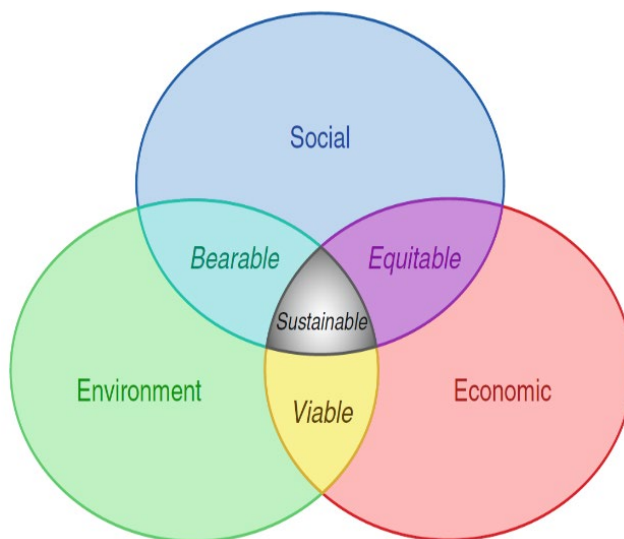


Figura 39, Definición de sostenibilidad por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (WCED), ReferenceWorkEntry\_Sustainability (2013).

Por desarrollo entendemos el avance en los tres pilares de la sostenibilidad:

1. **Crecimiento económico**, que implica el progreso económico.
2. **Progreso Social**, que facilita la consecución de la equidad social y la igualdad de oportunidades para todos, sin discriminación social e igualdad de perspectivas para obtener vivienda, educación, sanidad, empleo, etc.
3. **Protección del medio ambiente** asegurando que los recursos sean sanamente recuperables, para que también puedan ser disfrutados por las generaciones venideras (Muñiré, 2005).

Sin embargo, el creciente efecto de la degradación ambiental como recurso primario ha abierto la discusión hacia una interacción más armoniosa entre el medio ambiente, la sociedad y el desarrollo económico como punto de partida para lograr un desarrollo sostenible idóneo.

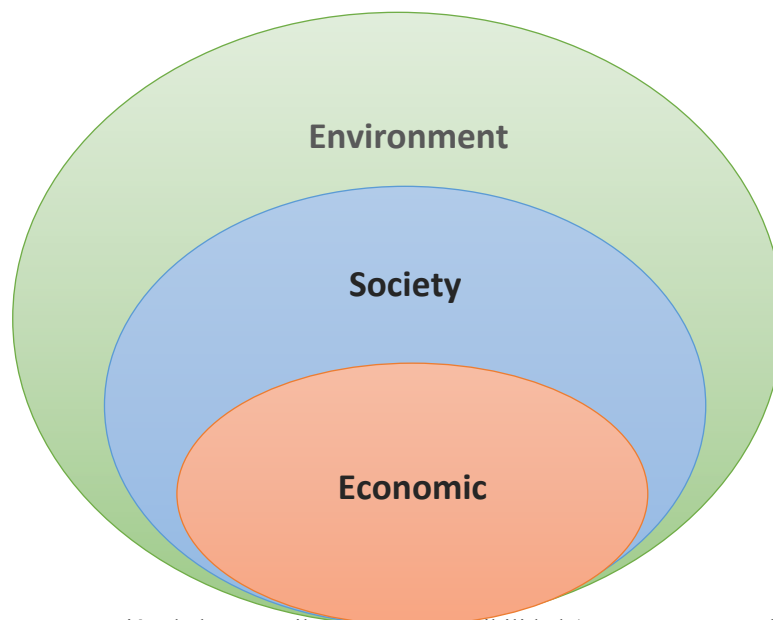


Figura 40, Interacción de los tres pilares de la sostenibilidad (Jørgensen. S., Pedersen, L., 2018)

El enfoque de este modelo se deriva del reconocimiento de que los recursos naturales son insumos esenciales en la producción económica, el consumo o el bienestar que no pueden ser sustituidos por capital físico o humano (Ayres, et al., 1998).

*Por lo tanto, considerando la dependencia de nuestra economía industrial de los recursos primarios* tenemos que pasar a un modelo económico lineal, donde la mitigación del cambio climático y la reducción de la huella ecológica se conviertan en una prioridad más allá de los modelos tradicionales o lineales que solo se centran en ser económicamente viables.



Con base al último informe de Euromonitor Internacional sobre el Índice de Sostenibilidad Ambiental en México de 2020, este indica que la energía producida a partir de biocombustibles y residuos en México no está muy desarrollada ni totalmente en uso, por lo

cual es importante detectar en qué industrias se detecta un potencial de implementación de energías que provenga de origen no fósil con el fin de reducir los gases de efecto invernadero.

Considerando que la economía global depende de la extracción de recursos naturales de la naturaleza, en la figura 43, muestra que en el año 2017 se extrajo la cantidad de 92,000 millones de toneladas. Estos recursos extraídos se complementan con 8,600 millones de toneladas de recursos previamente reciclados, lo que eleva el total de insumos materiales a 100,600 millones de toneladas. Además de observar que existen distintos grupos de recursos naturales que satisfacen las necesidades de la sociedad, la figura también presenta información sobre lo que sucede con los recursos después del uso de estos, es decir; no se les considera para un tratamiento adecuado para reincorporarlos dentro de un ciclo de economía circular. (Informe sobre la brecha de circularidad 2020).

En términos de sostenibilidad ambiental, México está experimentando un cambio preocupante hacia el aumento de la producción de electricidad a partir de combustibles fósiles. Los niveles de protección ambiental en el país son extremadamente decepcionantes, especialmente cuando se trata de la protección de especies en peligro de extinción y no la excepción en términos de adopción de políticas económicas sostenibles, y con base en el último informe de Euromonitor International del Índice de Sostenibilidad Ambiental.

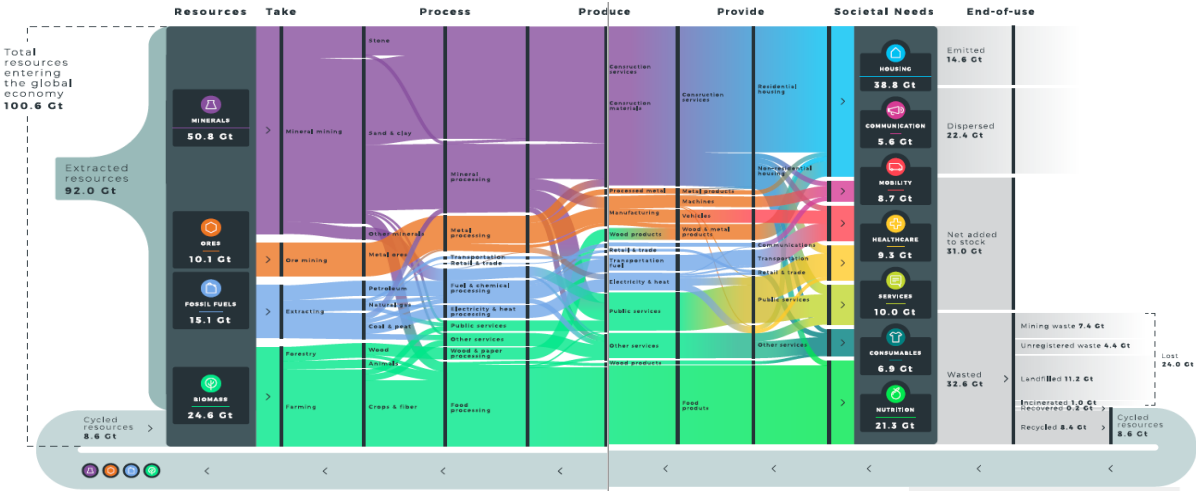


Figura 42, Huella de recursos de manera global después de satisfacer las necesidades de la sociedad, indicadores que muestran que de nuestra economía global solo el 8.6% de los desechos entra a un modelo de economía circular.

México se ubica en el lugar 14 en la región de América Latina de 16 lugares y en la posición 65, de las 97 naciones a nivel mundial, significa que en una posición de escalada más alta corresponde el peor desempeño. Este índice se está enfocando en la sustentabilidad ambiental lo que significa que México no está liderando este tema ni incluyendo regulaciones claras y su implementación a través de las empresas privadas y como parte de las organizaciones sociales para mitigar los efectos negativos que causan la degradación del medio ambiente.

Además, México tiene la peor disponibilidad de alimentos entre los países de la OCDE y su ciudad capital, la Ciudad de México, enfrenta graves problemas de contaminación del agua y el aire. México a menudo se ve afectado por desastres naturales que se espera que aumenten a medida que continúe el calentamiento global.

1. México se ubica en el lugar 65 en el pilar de sostenibilidad energética, ya que su producción de electricidad de 79.4% a partir de combustibles fósiles está aumentando.
2. El país todavía está luchando para proporcionar agua potable a todos sus habitantes, lo que coloca a México en la posición 62 en el pilar de equidad hídrica.
3. Debido a su economía de constante crecimiento, el creciente desarrollo urbano y el aumento de la generación de residuos, México ahora se ubica en el lugar 71 a nivel mundial para la generación de desechos municipales por persona. Sin embargo, la infraestructura de residuos no puede ponerse al día y la mayoría de la basura termina en terrenos baldíos ilegales.

La sostenibilidad ambiental de un país es crítica para las empresas debido a su dependencia del capital natural para el éxito de sus operaciones. El Índice de Sostenibilidad Ambiental es una herramienta de benchmarking para evaluar el desempeño de sostenibilidad ambiental de 97 mercados, que en 2018 representaban el 89,1% de la población mundial y el 97,2% del PIB mundial. El índice agrega indicadores en seis pilares clave que están en el centro del desarrollo sostenible y proporciona un sistema de "puntuación" de país fácil de entender para

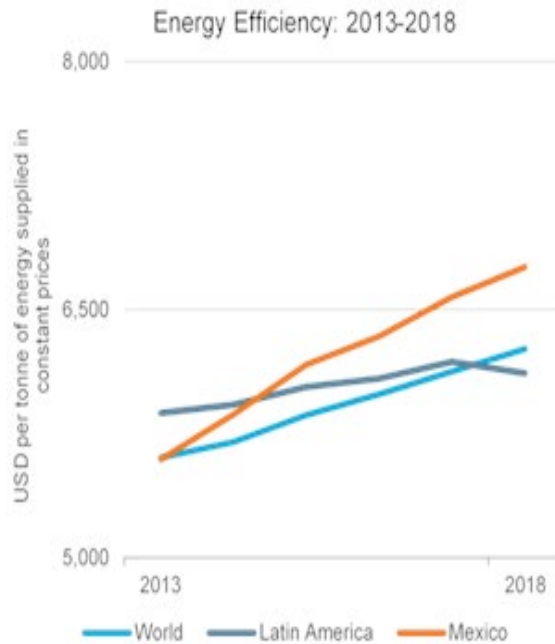
identificar rápidamente los riesgos y oportunidades de sostenibilidad específicos de cada país.

2018 Rank	Overall	Energy	Water	Pollution	Environmental Resilience	Forest & Biodiversity	Food & Agriculture
Regional	14 <sup>th</sup>	13 <sup>th</sup>	14 <sup>th</sup>	15 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	14 <sup>th</sup>	14 <sup>th</sup>
Global	65 <sup>th</sup>	61 <sup>st</sup>	59 <sup>th</sup>	44 <sup>th</sup>	56 <sup>th</sup>	91 <sup>st</sup>	73 <sup>rd</sup>

Tabla 4, Índice de Sustentabilidad Ambiental en México

Nota: El índice clasifica a 97 países a nivel mundial y 16 países a nivel regional (América Latina). Para cualquier indicador, el mejor desempeño corresponde al 1er en el ranking, mientras que el peor desempeño corresponde al 97mo. Los indicadores utilizados para construir el Índice de Sostenibilidad Ambiental se calculan utilizando per cápita, por tierra total y / o por unidad de producción económica, como denominador para permitir mejores comparaciones de datos entre países.

Desde el año 2000, México ha logrado disminuir su dependencia del petróleo crudo, sin embargo, el uso del gas natural como fuente primaria de producción de electricidad ha aumentado significativamente, colocando al país en el lugar 67 en el índice de producción de electricidad a partir de combustibles fósiles. Además, México tampoco es especialmente eficiente en energías renovables. A pesar de que el país utiliza energía hidroeléctrica, el uso de energía hidroeléctrica como fuente de energía primaria ha disminuido en un 32% desde 2000. Por lo tanto, el país ocupa el puesto 61 en el pilar de sostenibilidad energética. Además, en las zonas rurales de México el 0.6% de la población rural aún no tiene acceso a la electricidad y el 47.4% no tiene acceso a combustibles no sólidos, por lo que el país ocupa el lugar 65 en el pilar de equidad energética (Euromonitor International del index de Sustentabilidad Ambiental).



POPULATION WITH ACCESS TO ELECTRICITY IN MEXICO IN 2018 WAS 99.4% AND EXPECTED TO INCREASE TO 99.5% IN 2030

POPULATION WITH ACCESS TO NON-SOLID FUELS IN MEXICO IN 2018 WAS 85.4% AND EXPECTED TO INCREASE TO 86.2% IN 2030

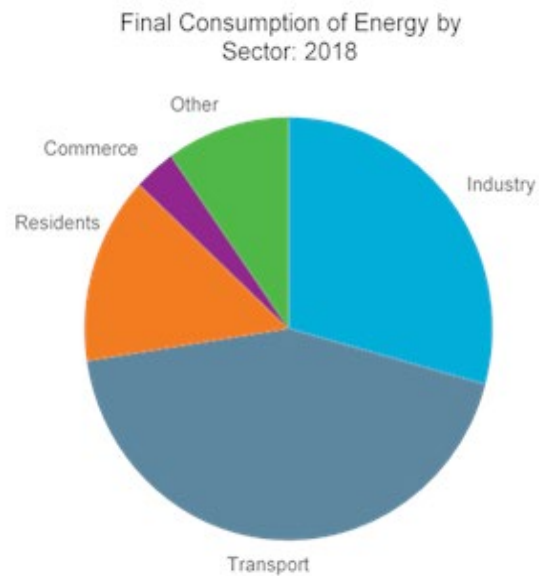
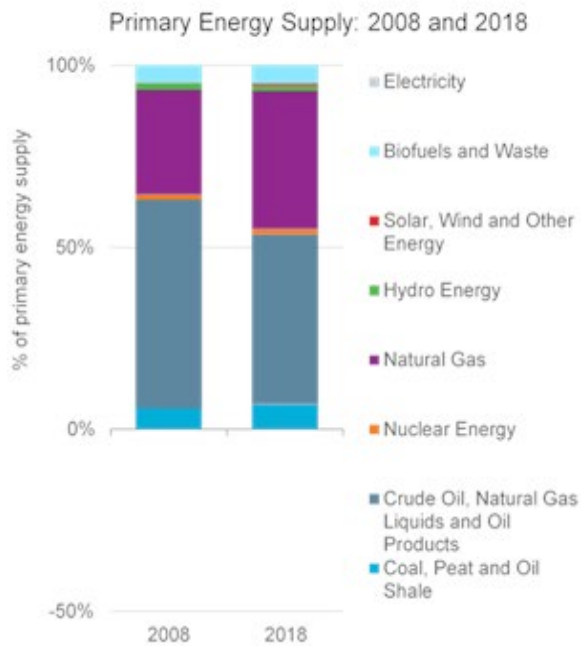
MEXICO'S ELECTRICITY OUTPUT PER CAPITA WAS 2,608 KWh IN 2018 COMPARED TO THE LATIN AMERICA AVERAGE OF 2,601 KWh PER CAPITA

PROVEN RESERVES TO PRODUCTION IN 2018:

COAL = 124 YEARS

NATURAL GAS = 4.6 YEARS

OIL = 8.4 YEARS



### Energy Ranking Mexico: 2018

2018 Rank	Overall Energy	Energy Equity	Energy Availability	Energy Security	Energy Efficiency
Regional	13 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	15 <sup>th</sup>	15 <sup>th</sup>
Global	61 <sup>st</sup>	65 <sup>th</sup>	61 <sup>st</sup>	53 <sup>rd</sup>	65 <sup>th</sup>

Figura 43, Panorama energético en México

Nota: El índice clasifica a 97 países a nivel mundial y 16 países a nivel regional (América Latina). Para cualquier indicador, el mejor desempeño corresponde al 1er en el ranking, mientras que el peor desempeño corresponde al 97mo. Los indicadores utilizados para construir el Índice de Sostenibilidad Ambiental se calculan utilizando per cápita, por tierra total y / o por unidad de producción económica, como denominador para permitir mejores comparaciones de datos entre países.

Hoy en día existen varias alternativas presentes en el mercado en lo que respecta a las tecnologías ambientales y empresas de consultoría que el objetivo principal es trabajar con tecnologías que no utilicen combustible de origen no fósil y la generación de energía como suministro primario pueda trasladarse a fuentes renovables como se describe en la figura 43, que representan una tasa insignificante en comparación con las que utilizan combustible de origen fósil.

Las tecnologías ambientales se pueden clasificar de la siguiente manera en función del impacto en los diferentes campos de los recursos naturales del medio ambiente.

<i>Propósito de la empresa</i>	<i>Objetivo de la Política Ambiental</i>		<i>Tecnología</i>
	<i>Campo</i>	<i>Subcampo</i>	
Tecnologías ambientales	Mitigación del cambio climático	Generación de Energía Renovable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energía Solar Térmica</li> <li>• Energía Solar Fotovoltaica (PV)</li> </ul>
		Eficiencia energética en edificios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iluminación</li> <li>• Calefacción, ventilación o aire acondicionado (HVAC)</li> <li>• Electrodomésticos</li> <li>• Tecnologías de la información y la comunicación (TIC)</li> <li>• Lado del usuario final</li> </ul>
		Generación de energía a partir de combustibles de origen no fósil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocombustibles</li> <li>• Combustible a partir de residuos (por ejemplo, metano, biomasa, etc.)</li> </ul>

	Gestión Ambiental	Gestión de residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolección de residuos sólidos</li> </ul>
	Tecnologías de adaptación relacionadas con el agua	Tecnologías del lado de la demanda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservación del agua en interiores (grifos, duchas, saneamiento, electrodomésticos)</li> </ul>
		Tecnologías del lado de la oferta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Captación de agua (lluvia, aguas superficiales y subterráneas)</li> <li>• Almacenamiento de agua</li> </ul>
<b>Servicios</b>	Se ofrece para fortalecer las estrategias de sostenibilidad de las organizaciones, para el medio ambiente y la promoción de la idea de economía circular, participando potencialmente en las etapas de uso y reutilización de productos para incorporarlos nuevamente al ciclo de vida impactando el aspecto social de la sostenibilidad y el desarrollo económico de las familias más pobres.		

Tabla 5, Clasificación de las tecnologías ambientales (Haščič, I., Migotto, M., (2015)