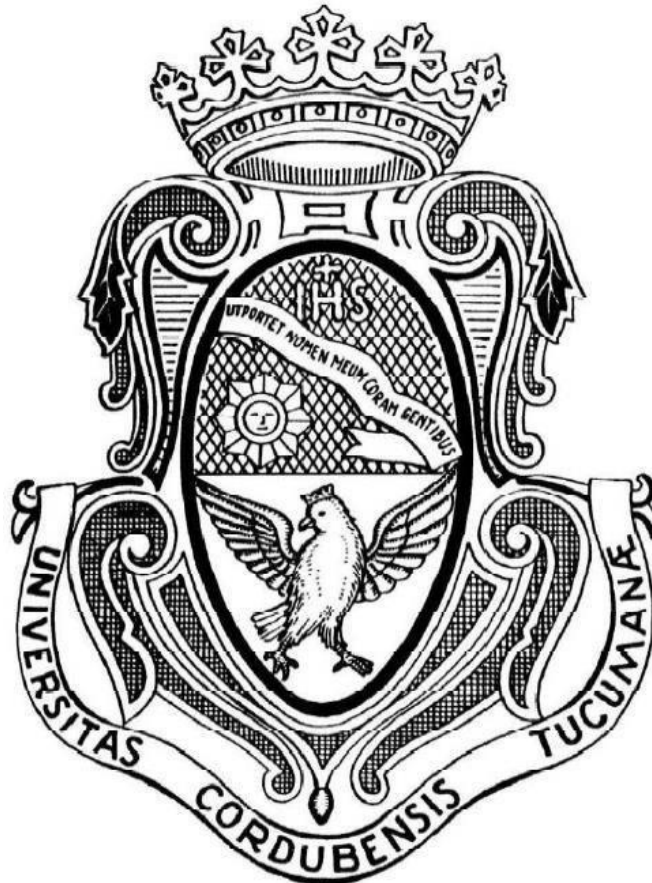


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES



*PRÁCTICA SUPERVISADA*

*Ingeniería Ambiental*

***“Evaluación Ambiental Estratégica – Análisis de sistemas de generación de energía sustentable a partir de biomasa.”***

Rocío Bianchi

**Tutor:** Dra. Teresa María Reyna

**Supervisor externo:** Mag. Ing. Fabián Fulginiti

**Lugar:** CEAS S.A

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, en especial a mis padres Patricia y Edgardo y mi abuela Clider, por su apoyo incondicional y acompañarme en el logro de todas mis metas.

A mis amigos, por tantas experiencias y momentos compartidos, que hicieron mi etapa universitaria de grado una de las más lindas.

A mi novio Franco, por su contención y por acompañarme en todo momento.

A mis tutores, Dra. Teresa Reyna y Mag. Ing. Fabián Fulginiti, por sus enseñanzas a lo largo de mis practicas supervisadas, su paciencia y dedicación.

Al Dr. Santiago M. Reyna por hacerme formar parte de sus proyectos. Por sus enseñanzas, apoyo, motivación y consejos.

A CEAS S.A. y a las personas que lo conforman, por permitirme realizar la Práctica Supervisada en la empresa y darme la posibilidad de dar mis primeros pasos en el ejercicio de la actividad profesional. Además, por su colaboración, apoyo y enseñanzas.

## ÍNDICE

1) CAPÍTULO 1: MARCO DEL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA .....	6
1.1) Introducción .....	6
1.2) Objetivos de la práctica supervisada .....	7
1.2.1 Objetivos generales de las prácticas supervisadas .....	7
1.2.2 Objetivos particulares de la práctica .....	7
1.3) Actividades desarrolladas durante la práctica supervisada .....	7
1.4) Aplicación de los conocimientos adquiridos en asignaturas de la carrera Ingeniería Ambiental .....	8
1.5) Organización del informe .....	8
2) CAPÍTULO 2: CONCEPTOS TEÓRICOS .....	10
2.1) Evaluación Ambiental Estratégica .....	10
2.1.1 Evaluación Ambiental Estratégica en Córdoba .....	11
2.2) Ordenamiento Ambiental del Territorio .....	12
2.2.1 Ordenamiento Territorial .....	12
2.2.2 Ordenamiento Ambiental del Territorio (OAT) en la provincia de Córdoba .....	13
2.2.3 Sistema de Información geográfica (SIG) .....	14
2.3) Energías renovables .....	15
2.3.1 Energías renovables y cambio climático .....	16
2.3.2 Energías renovables en Argentina .....	17
2.4) Biomasa .....	22
2.4.1 Definición .....	22
2.4.2 Origen .....	22
2.4.3 Disponibilidad .....	24
2.5) Bioenergía .....	24
2.5.1 Definición .....	24
2.5.2 Fuentes de energía .....	25
2.5.3 Situación actual del uso de bioenergía .....	27
2.5.4 Impacto Ambiental y social de la energía de biomasa .....	28
2.5.5 Barreras de la bioenergía .....	29
2.5.6 La biomasa en la República Argentina .....	29
2.5.7 Procesos de transformación de biomasa en energía .....	30
2.6) Generación de etanol a partir de maíz .....	32
2.6.1 Maíz .....	33
2.6.2 Bioetanol .....	36
2.6.3 Burlanda (Sólidos Insolubles) .....	38

2.6.4 Vinaza liviana (Sólidos Solubles).....	39
2.6.5 Principales Procesos para la generación de etanol a partir de maíz.....	39
3) CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL BALANCE ENERGÉTICO .....	43
3.1) Introducción .....	43
3.2) Balance energético.....	44
3.2.1 Incidencia del consumo energético en la etapa de cultivo .....	45
3.2.2 Incidencia del consumo energético en la etapa de producción del etanol .....	55
3.2.3 Parámetros considerados en el balance energético .....	59
3.2.4 Determinación de la recuperación energética en los coproductos .....	60
3.2.5 Incidencia del transporte .....	71
3.2.6 Consideraciones adicionales .....	77
4) CAPÍTULO 4: APLICACIÓN Y RESULTADOS .....	78
4.1) Obtención de los datos .....	78
4.2) Presentación de Resultados.....	83
4.2.1 Instrumentación para determinar el potencial de generación de bioetanol en cada punto de la provincia de Córdoba.....	83
4.2.2 Balance energético para casos testigo.....	84
4.2.3 Incidencia del transporte .....	90
4.3) Conclusiones y recomendaciones.....	91
5) CAPÍTULO 5: ANEXOS .....	93
5.1) Anexo I. Procesos de transformación de biomasa en energía.....	93
5.1.1 Procesos físicos .....	93
5.1.2 Procesos termoquímicos.....	93
5.1.3 Procesos bioquímicos.....	97
5.1.4 Energía de los Residuos Sólidos Urbanos.....	102
5.2) Anexo II. Balances energéticos.....	103
6) REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	113
7) REFERENCIAS WEB .....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Evaluación Ambiental Estratégica como instrumento. (Gómez Orea, 2014).....	10
Figura 2.	Modelo de representación ráster. (Instituto Geográfico Nacional, 2019).....	15
Figura 3.	Modelo de representación vectorial (Instituto Geográfico Nacional, 2019).....	15
Figura 4.	Generación de Energía en Argentina (CAMMESA, 2018).....	20
Figura 5.	Generación Renovable – Participación sobre la demanda/fuente (CAMMESA, 2018) .....	21
Figura 6.	Índice Provincial de Atractivo Renovable (UBA FCE, 2019).....	21
Figura 7.	Descripción general de la fotosíntesis. (Fuente: <a href="https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/introduction-to-stages-of-photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis">https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/introduction-to-stages-of-photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis</a> ).....	23
Figura 8.	Reacciones químicas implicadas en el proceso de fotosíntesis. (Fuente: <a href="https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/introduction-to-stages-of-photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis">https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/introduction-to-stages-of-photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis</a> ).....	24
Figura 9.	Fuentes de energía. (FAO, 2004) .....	25
Figura 10.	Clasificación de la biomasa de acuerdo con su contenido de humedad y procesos de transformación asociados. (Fulginiti, 2018) .....	31
Figura 11.	Partes de la planta del maíz. (Fuente: <a href="https://www.arablog.co/partes-de-la-planta-de-maiz/">https://www.arablog.co/partes-de-la-planta-de-maiz/</a> ) .....	33
Figura 12.	Región pampeana de Argentina. (Fuente: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%B3n_pampeana#/media/Archivo:Regi%C3%B3n_pampeana.jpg">https://es.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%B3n_pampeana#/media/Archivo:Regi%C3%B3n_pampeana.jpg</a> ) .....	35
Figura 13.	Gran destilería. (Fuente: <a href="http://www.promaiz.com.ar/">http://www.promaiz.com.ar/</a> ).....	39
Figura 14.	MiniDest. (Fuente: <a href="http://www.minidest.com.ar/">http://www.minidest.com.ar/</a> ) .....	40
Figura 15.	Esquema de procesos en la producción de bioetanol. (Fulginiti, 2018) .....	41
Figura 16.	Relación del Rendimiento del maíz con el Índice de productividad. (Fuente: Elaboración propia) .....	47
Figura 17.	Rendimientos en la producción de maíz en la Provincia de Córdoba obtenidos a partir del Índice de productividad. (Fuente: Elaboración propia).....	48
Figura 18.	Deficiencia Hídrica en Córdoba. (Secretaría de Recursos Hídricos, 2011). .....	51
Figura 19.	Tipos de Energía Alimentaria. (Fuente: Elaboración propia). .....	64
Figura 20.	Relación entre la energía de mantenimiento y la energía neta. (Bauza, R., 2012).....	69
Figura 21.	Esquema convencional de partición de la energía alimentaria. (Bauza, R., 2012) .....	70
Figura 22.	Valores asignados a la energía de la burlanda (DDGS) para cada estadio. (Fuente: Elaboración propia.) .....	71
Figura 23.	Principales corredores a nivel nacional (FIEL, 2002).....	72
Figura 24.	Rendimiento en la producción de maíz por localidad en la provincia de Córdoba. (Fuente: Elaboración propia.) .....	83
Figura 25.	Ubicación espacial de las localidades analizadas en el informe. (Fuente: Elaboración propia.) .....	85
Figura 26.	Relación input/output para Camilo Aldao, de acuerdo a los resultados del balance energético realizado. (Fuente: Elaboración propia.) .....	88
Figura 27.	Relación input/output para Monte Ralo, de acuerdo a los resultados del balance energético realizado. (Fuente: Elaboración propia.) .....	89
Figura 28.	Relación input/output para Mina Clavero, de acuerdo a los resultados del balance energético realizado. (Fuente: Elaboración propia.) .....	89
Figura 29.	Accesibilidad de las localidades testigo (Fuente: Elaboración propia.) .....	90
Figura 30.	Outputs por transporte de maíz. (Fuente: Elaboración propia.).....	91
Figura 31.	Ciclo de generación turbovapor - Central turbovapor (FAO, 2019) .....	95
Figura 32.	Componentes del biodigestor. (PROBIOMASA, 2014).....	99
Figura 33.	Flujo pistón (PROBIOMASA, 2014).....	100
Figura 34.	Reactor de mezcla completa (PROBIOMASA, 2014) .....	100
Figura 35.	Reactor anaeróbico de contacto (PROBIOMASA, 2014) .....	101

Figura 36. Reactor de flujo ascendente y manto de lodos (PROBIOMASA, 2014) .....	101
--	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de Nutriente total absorbido y extraído en grano de maíz expresado en kg de nutriente por tonelada de grano base seca (Ciampitti A. et al, S. f).....	49
Tabla 2. Requerimientos de pesticidas para el cultivo de maíz. (Gracia, C., 2011).....	50
Tabla 3. Requerimientos en diferentes sistemas de irrigación. (Batty y Heller, 1980). *IRRS: Sistema de recuperacion de la escorrentia de riego .....	55
Tabla 4. Pérdidas de energía en el proceso de producción de etanol en mini destilerías. (Fuente: Elaboración propia.) .....	56
Tabla 5. Ganancia de energía en el proceso de producción de etanol en mini destilerías. (Fuente: Elaboración propia.) .....	56
Tabla 6. Energía implicada en el proceso de generación de etanol para destilerías y mini destilerías. (Fuente: Elaboración propia.).....	58
Tabla 7. Parámetros del maíz y etanol utilizados en el balance energético realizado. Fuente: Elaboración propia. ....	59
Tabla 8. Costos energéticos unitarios utilizados en el balance energético realizado. (Fuente: Elaboración propia.) .....	59
Tabla 9. Burlanda húmeda: Análisis de Laboratorio <sup>(1)</sup> y Composición Química Sugeridos <sup>(2)</sup> . (Gallardo, M., S.f) .....	60
Tabla 10. Burlanda seca: Análisis de Laboratorio <sup>(1)</sup> y Composición Química Sugeridos <sup>(2)</sup> . (Gallardo, M., S.f) .....	60
Tabla 11. Energía bruta del maíz dentado y duro a través del tiempo.....	62
Tabla 12. Nutrientes digestibles totales. (Bauza, R., 2012).....	66
Tabla 13. Pérdidas de energía. (CEAS S.A., 2017).....	68
Tabla 14. Comparación cualitativa de destinos para el maíz. Fuente: (CEAS S.A., 2017).....	75
Tabla 15. Parámetros de referencia del transporte. (Posada H, J. 2012.) .....	75
Tabla 16. Rendimientos por localidad y departamento. (Fuente: Elaboración propia con datos de BCCBA y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.).....	82
Tabla 17. Fertilización requerida en las tres localidades analizadas. (Fuente: Elaboración propia .....)	86
Tabla 18. Resumen de los resultados obtenidos en el Balance energético realizado para la localidad de Camilo Aldao. (Fuente: Elaboración propia.).....	86
Tabla 19. Resumen de los resultados obtenidos en el Balance energético realizado para la localidad de Monte Ralo. (Fuente: Elaboración propia.).....	87
Tabla 20. Resumen de los resultados obtenidos en el Balance energético realizado para la localidad de Mina Clavero. (Fuente: Elaboración propia.).....	87
Tabla 21. Balance energético de la localidad Camilo Aldao. (Fuente: Elaboración propia.) .....	106
Tabla 22. Balance energético de la localidad Monte Ralo. (Fuente: Elaboración propia.).....	109
Tabla 23. Balance energético de la localidad Monte Ralo. (Fuente: Elaboración propia.).....	112

# 1) CAPÍTULO 1: MARCO DEL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

## 1.1) Introducción

Históricamente la matriz energética de la República Argentina depende prácticamente en su totalidad de los combustibles fósiles. Sin embargo, en los últimos años, se han desarrollado fuentes de energía renovable alternativas. Dichas energías tienen un gran potencial para mitigar el cambio climático y además pueden aportar otros beneficios. Si se utilizan de forma adecuada, pueden contribuir al desarrollo social y económico, favorecer el acceso a la energía y la seguridad del suministro de energía y reducir sus efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud. La promoción de tecnologías de energías renovables ofrece una doble ventaja: diversificación energética y la esperanza de desarrollo para comunidades pobres y aisladas que no están conectadas a las grillas de transporte y distribución eléctrica.

Identificar la fuente de recursos más adecuada para generar electricidad y sus distintas alternativas es la mejor manera de aprovechar la energía renovable y asegurar su desarrollo.

Una de las energías renovables potencialmente aprovechable es la energía de la biomasa, que incluye una multiplicidad de fuentes y procesos. Una de las fuentes son los cultivos energéticos, que incluyen al maíz para generar biocombustibles. En la provincia de Córdoba hay una predisposición al cultivo de maíz, influenciada por su historia, tradición, condiciones climáticas y tipo de suelo, entre otros factores. Al ser Córdoba una de las principales provincias productoras del país, se asegura un alto rendimiento de producción y suministro de materia prima, hay una predictibilidad de la disposición y concentración espacial del maíz, y disponibilidad de datos, lo que facilita el análisis.

Como consecuencia, se optó para el presente trabajo evaluar la factibilidad de producción de biocombustibles en la provincia de Córdoba, específicamente de etanol a partir de maíz, contribuyendo así a la expansión de la aplicación de las energías renovables. Para el análisis se realizó un balance energético considerando la energía implicada en el proceso de producción de maíz y posterior procesamiento para la generación de etanol, en cada sitio de la Provincia de Córdoba, determinando la rentabilidad desde el punto de vista energético.

Los datos y conclusiones obtenidos fueron brindados al equipo de Ordenamiento Ambiental del Territorio de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, para generar capas de SIG (Sistema de Información Georreferenciada). Las mismas se encontrarán disponibles en <http://www.ciisa.inv.efn.uncor.edu/>, junto con otras capas generadas por dicho equipo, con el objetivo de ser utilizadas como instrumento para la toma de decisiones sobre la implementación de proyectos relacionados con la generación de etanol.

Además, este análisis forma parte del ordenamiento ambiental del territorio que será utilizado como herramienta en el proceso de evaluación ambiental estratégica en la provincia de Córdoba.

## 1.2) Objetivos de la práctica supervisada

### 1.2.1 Objetivos generales de las prácticas supervisadas

- Brindar al estudiante experiencia práctica complementaria en la formación elegida, para su inserción en el ejercicio de la profesión.
- Facilitar el contacto del estudiante con instituciones, empresas públicas o privadas o profesionales que se desempeñan en el ámbito de los estudios de la disciplina que realizan.
- Introducir en forma práctica al alumno en los métodos reales y códigos relativos a las organizaciones laborales.
- Ofrecer al estudiante y profesores experiencias y posibilidades de contacto con nuevas tecnologías.
- Contribuir con la tarea de orientación del alumno respecto a su ejercicio mutuo.
- Redactar Informes Técnicos convenientemente fundamentados acerca de la práctica propuesta y los resultados de su realización.

### 1.2.2 Objetivos particulares de la práctica

- Contribuir a la expansión de la aplicación de las energías renovables, específicamente en el campo de la generación de etanol a partir de la producción de maíz.
- Determinar la factibilidad de producción de biocombustibles en la Provincia de Córdoba, específicamente de etanol a partir de maíz.
- Proveer la información necesaria para generar capas del SIG de la provincia de Córdoba con el objetivo de contribuir al Ordenamiento Ambiental del Territorio.
- Contribuir en la formulación de la Evaluación Ambiental Estratégica vinculada con la producción de Etanol a partir de maíz.

## 1.3) Actividades desarrolladas durante la práctica supervisada

Las tareas realizadas para el logro del objetivo propuesto fueron las siguientes:

1. Introducción a las tareas a realizar.
2. Recopilación y revisión de bibliografía académica y técnica referida a Evaluación Ambiental Estratégica, Ordenamiento Ambiental del Territorio, Energía de la biomasa y la Producción de etanol a partir del maíz.
3. Recopilación y revisión de normativa asociada a la Evaluación Ambiental Estratégica, Generación distribuida y Energías Renovables.
4. Recopilación, ordenamiento, procesamiento y análisis de los datos vinculados a las variables que afectan la factibilidad en la generación de etanol a partir de maíz.
5. Desarrollo del balance energético para la producción de etanol en cada zona de la Provincia de Córdoba a partir del maíz.



6. Elaboración en conjunto con personal del equipo de OAT de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba de las capas del SIG de referencia.
7. Formulación de conclusiones y recomendaciones en la materia.

#### 1.4) Aplicación de los conocimientos adquiridos en asignaturas de la carrera Ingeniería Ambiental

Para el desarrollo de este informe se utilizaron conocimientos de las siguientes asignaturas:

- **Ingeniería ambiental I**, para conceptos generales como la legislación ambiental provincial, nacional e internacional, evaluación ambiental estratégica y ordenamiento ambiental del territorio.
- **Ingeniería ambiental II**, en lo referido a Energías Renovables, características, uso eficiente, consideraciones a tener en cuenta y tendencias actuales. Específicamente para la energía de biomasa, procesos de transformación, tipos de biomasa, normativa y promoción.
- **Ingeniería ambiental III**, para los temas de nutrientes en los sistemas agrícolas y propiedades físicas y químicas del suelo.
- **Tecnología, ambiente y sociedad**, en lo referido a políticas medioambientales, promoción y la gestión de las iniciativas medioambientales, evaluación del impacto ambiental y estimación de sus efectos sociales, política energética y cambio climático. Además, para la técnica de recogida de datos y procedimientos de análisis.
- **Obras Hidráulicas**, para los temas de riego y drenaje, relaciones entre el agua y el suelo. Irrigación, necesidades hídricas de los cultivos y sistemas de riego.
- **Cartografía y conservación de suelos**, en lo referido a características y clasificación de las tierras para fines generales e Índices de productividad.

#### 1.5) Organización del informe

El presente informe analiza las posibilidades de generación de bioenergía, su normativa, procesos, requerimientos e insumos que permitirían su utilización en el contexto de la provincia de Córdoba. Seguidamente, se realiza de forma detallada un balance energético, el cual se considera un indicador de la factibilidad de producción de bioetanol.

El trabajo consta de 5 capítulos, los cuales se detallan a continuación:

El capítulo 1 es el marco de la Práctica Supervisada, el cual posee una introducción, los objetivos y las actividades realizadas, el contexto institucional, la aplicación de los conocimientos adquiridos en asignaturas de la carrera Ingeniería Ambiental y la organización del informe.

En el capítulo 2 se desarrollan los conceptos teóricos pertinentes al presente trabajo: Evaluación Ambiental Estratégica, Ordenamiento Ambiental del Territorio y Energías Renovables, haciendo luego hincapié principalmente en la energía de biomasa, bioenergía y desarrollando en detalle la generación de etanol a partir del maíz.

En el capítulo 3 se detalla la metodología aplicada para la determinación de la factibilidad de generación de etanol a partir de maíz, mediante el desarrollo de un balance energético que considera la energía implicada en la producción de maíz y la generación de etanol. Se establecen además los parámetros utilizados, las consideraciones tenidas en cuenta y un estudio detallado de la influencia del transporte y la recuperación energética de los coproductos.

En el capítulo 4 se detallan los datos utilizados y una instrumentación para que el usuario determine el potencial de generación de bioetanol en un sitio de la provincia de Córdoba. A continuación, se desarrolla el balance energético para tres localidades testigo de acuerdo a la instrumentación propuesta. Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos se elaboran conclusiones y recomendaciones para investigaciones futuras.

En el capítulo 5 hay dos Anexos. En el Anexo I se detallan los procesos de transformación de biomasa en energía, desarrollados brevemente en el Capítulo 2. En el Anexo II se adjuntan las tablas de los balances energéticos realizados en el Capítulo 4, en tres localidades testigo.

## 2) CAPÍTULO 2: CONCEPTOS TEÓRICOS

### 2.1) Evaluación Ambiental Estratégica

La Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) se entiende como un instrumento para incorporar el concepto de sostenibilidad a los procesos de toma de decisiones estratégicas sobre los modelos de desarrollo y a los grandes retos que los determinan. Es el equivalente a la Evaluación de Impacto Ambiental aplicada a los niveles más altos de decisión: Políticas, Planes y Programas (PPP), es decir a los instrumentos de planificación que preceden al proyecto en los procesos de toma de decisiones y le superan en nivel de abstracción y en amplitud de los ámbitos espacial y temático que los afectan. (Gómez Orea, 2014)

Tal como se observa en la Figura 1, la Evaluación Ambiental Estratégica es un instrumento para insertar el medio ambiente en la formulación de políticas, planes y programas, junto con criterios económicos y sociales.

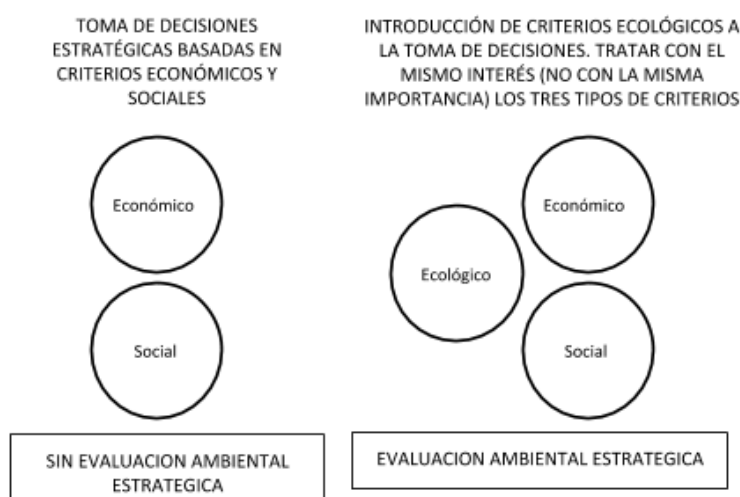


Figura 1. Evaluación Ambiental Estratégica como instrumento. (Gómez Orea, 2014)

Tres principios fundamentan la EAE: el de cautela, frente a los potenciales efectos ambientales de las actividades inversoras; el de integración del medio ambiente en las políticas y actividades sectoriales y el de transparencia a través de información exhaustiva y fidedigna del proceso planificador y de la participación de la población de los agentes socioeconómicos en él. (Gómez Orea, 2014)

En la provincia de Córdoba, la Ley N° 10.208 de Política Ambiental Provincial ratifica los principios ambientales consagrados en la Ley Nacional N° 25.675 General del Ambiente. A través del principio de responsabilidad determina que "...el generador de efectos degradantes del ambiente -actuales o futuros- es responsable de los costos de las acciones preventivas y correctivas de recomposición, sin perjuicio de la vigencia de los sistemas de responsabilidad ambiental que correspondan". Y, el Principio de Sustentabilidad estipula que "...el desarrollo

económico y social y el aprovechamiento de los recursos naturales deben realizarse a través de una gestión apropiada del ambiente, de manera tal que no comprometa las posibilidades de las generaciones presentes y futuras”.” (Resolución 13/15)

Como la EAE parte de un proceso de planificación en el cual se deben predecir hechos futuros, está inevitablemente sometida a riesgo e incertidumbre, que se ven incrementados por la complejidad y nivel de abstracción de los PPP, por las dilatadas referencias temporales que utilizan, por la propia incertidumbre sobre la forma en que van a ser desarrollados y por el déficit generalizado de conocimiento sobre el sistema ambiental.

La credibilidad de la EAE se encuentra determinada por la transparencia del proceso, la participación pública real y la calidad de los documentos técnicos que soportan el proceso. La calidad de los documentos depende de su elaboración a través de una metodología sistemática, la consideración de la percepción social y la utilización del conocimiento local y de la calidad, independencia y funcionamiento del equipo de trabajo. (Gómez Orea, 2014)

### **2.1.1 Evaluación Ambiental Estratégica en Córdoba**

El desarrollo del marco normativo para EAE es aún incipiente en Argentina. A nivel nacional, se hace referencia a ella en la Ley N° 26.639, de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial, sancionada en 2010, que indica su aplicación conforme a la escala de intervención de la actividad a desarrollar. A su vez, la Ley General del Ambiente N° 25.675, determina pautas que pueden interpretarse como base de la EAE, desde dos enfoques: como política pública y como instrumento de gestión ambiental.

En la Provincia de Córdoba entró en vigencia la Resolución N° 13/15 del Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos, la cual reglamenta la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), incluida en la Ley de Ambiente (Ley N° 10.208).

En el Artículo 37 de la Ley N° 10.208, se define como Evaluación Ambiental Estratégica como “procedimiento iniciado por el área del ministerio sectorial respectivo, para que se incorporen las consideraciones ambientales del desarrollo sustentable al proceso de formulación de las políticas, programas y planes de carácter normativo general que tengan impacto sobre el ambiente o la sustentabilidad, de manera que ellas sean integradas en la formulación e implementación de la respectiva política, programa y plan, y sus modificaciones sustanciales, y que luego es evaluado por la Autoridad de Aplicación”.

Según el Artículo 38 de la Ley N° 10.208, “La Evaluación Ambiental Estratégica tiene como finalidad y objetivos:

- a) Incidir en los niveles más altos de decisión política-estratégica institucional;
- b) Aplicarse en la etapa temprana de la toma de decisiones institucionales;
- c) Ser un instrumento preventivo;
- d) Implicar una mejora sustantiva en la calidad de los planes y políticas públicas;

- e) Permitir el diálogo entre los diversos actores públicos y privados;
- f) Contribuir a un proceso de decisión con visión de sustentabilidad;
- g) Mejorar la calidad de políticas, planes y programas;
- h) Fortalecer y facilitar la Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, y
- i) Promover nuevas formas de toma de decisiones.”

En la práctica, las políticas públicas aplicadas que tengan impacto ambiental deben superar la instancia de EAE, ya sea por orden del Ejecutivo o bien del Consejo de Desarrollo Sustentable, órgano conformado por la Ley de Ambiente. De esta forma, los proyectos o planes oficiales deben superar una serie de instancias que incluyen audiencias públicas y dictámenes técnicos de una Comisión Técnica Interdisciplinaria.

La EAE, según la Ley N° 10.208, se aplica obligatoriamente a planes de ordenamiento territorial, planes reguladores intermunicipales o intercomunales, planes regionales de desarrollo urbano y zonificaciones y al manejo integrado de cuencas o los instrumentos de ordenamiento territorial que los reemplacen o sistematicen.

El trámite administrativo para presentar la EAE se rige de acuerdo con el Anexo Único de la Resolución 13/15.

## 2.2) Ordenamiento Ambiental del Territorio

### 2.2.1 Ordenamiento Territorial

El Ordenamiento Territorial (OT) es un proceso político-técnico-administrativo orientado a la organización, planificación y gestión del uso y ocupación del territorio, en función de las características biofísicas, culturales, socioeconómicas y político-institucionales. Este proceso debe ser participativo, interactivo e iterativo y basarse en objetivos explícitos que propicien el uso inteligente y justo del territorio, aprovechando oportunidades, reduciendo riesgos, protegiendo los recursos en el corto, mediano y largo plazo, repartiendo de forma racional los costos y beneficios del uso territorial entre los usuarios del mismo.

El proceso de OT tiene por objeto lograr una distribución territorial más equitativa y eficiente de las oportunidades de desarrollo, orientando las relaciones entre el territorio y sus ocupantes, vinculando las actividades humanas, productivas y el espacio, con el fin último, de mejorar la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras. Las transformaciones en el sistema social, económico, cultural y político generan una serie de cambios en el uso y organización del territorio, que se deben resolver mediante el diálogo y la búsqueda de soluciones planificadas que tengan en cuenta los intereses de los sectores involucrados. (Méndez Casariego, H. et al, 2014)

Al contar con un Plan de Ordenamiento Territorial (POT), el gobierno local y el conjunto de los actores sociales cuentan con una poderosa herramienta para tomar decisiones con mayor grado

de certeza, para aprovechar mejor los recursos naturales, humanos y económicos, e identificar los pasos más convenientes a seguir para lograr un desarrollo equilibrado que implica la planificación del espacio y de los sistemas productivos, y la promoción de la competitividad sistémica y la productividad territorial.

Además, el proceso de OT contribuye a favorecer la vinculación y conexión entre áreas urbanas y rurales, direccionar las inversiones públicas y privadas de infraestructuras productivas, disminuir y prevenir riesgos naturales y antrópicos, optimizar la organización de los asentamientos humanos, el arraigo de la población y el acceso a los servicios de infraestructura, propiciar el acceso de la población a condiciones de seguridad alimentaria, fortalecer la competitividad de los sistemas productivos locales, generar oportunidades de inversión productiva con agregado de valor en origen para el desarrollo económico de la región, mitigar y prevenir los conflictos entre actividades humanas y su impacto ambiental y orientar el uso adecuado de los recursos naturales de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones contribuyendo al manejo sostenible de áreas de fragilidad ecosistémica. (Méndez Casariego, H. et al, 2014)

### **2.2.2 Ordenamiento Ambiental del Territorio (OAT) en la provincia de Córdoba**

El área Ordenamiento Ambiental del Territorio (OAT) en la provincia de Córdoba, fue creada a fines del año 2014, con la sanción de la Ley 10.208 de Política Ambiental Provincial, donde se incluye este instrumento de Política Ambiental en el Capítulo III, artículos 9° a 12°.

Como objetivo principal, el OAT promueve y colabora con el desarrollo global del territorio mediante la coordinación de municipios y comunas con la Provincia, propiciando procesos participativos con todos los actores sociales, con un enfoque orientado a la protección y conservación de los ecosistemas en equilibrio con las actividades humanas que promuevan el desarrollo socio económico.

Además, el área de OAT promueve la participación institucional y ciudadana coordinando la intervención de actores diversos en los procesos de discusión y conforma un Sistema de Información Geográfica (SIG) Ambiental articulando información espacial disponible en distintos formatos.

Los datos recabados para la construcción del SIG responden a las pautas establecidas en el art. 12° de la Ley N° 10.208 que cita los criterios que define la Ley Nacional N° 25.675 General del Ambiente y los antecedentes provinciales ya existentes.

La importancia de un SIG ambiental es su rol de soporte para cualquier tipo de análisis e intervención territorial donde se vinculen numerosas variables y poder conocer y relacionar múltiples aspectos ambientales es la base para la toma de decisiones con fundamentos técnicos. (Fuente: <https://secretariadeambienteycambioclimatico.cba.gov.ar/ordenamiento-ambiental-del-territorio/>)

Las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) son espacios donde se articulan tecnologías, políticas, acuerdos institucionales y procedimientos estandarizados con el fin de hacer accesible la Información Geográfica de una jurisdicción a toda la sociedad.

En Córdoba, el programa IDECOR impulsa el desarrollo de la IDE provincial, integrando al sector público, la academia y el sector privado. Su propósito principal es ser una herramienta relevante para la mejora en la gestión de las políticas públicas vinculadas al territorio y la promoción del desarrollo económico y social. IDECOR busca transformarse en un recurso para todos los actores de la sociedad, ello es: organismos provinciales, municipios, sectores académicos y de investigación, sector privado, profesionales ligados al territorio, ONGs y ciudadanos en general.

La Secretaría de Ambiente y Cambio Climático (SAyCC) participa en IDECOR, a fin de integrar esta información en redes oficiales que dispongan de estándares para su intercambio entre organismos de la gestión pública provincial, académicos y otros no oficiales (Fuente: <https://idecor.cba.gov.ar/>).

### **2.2.3 Sistema de Información geográfica (SIG)**

Un sistema de información geográfica (SIG) es un “conjunto de programas, equipamientos, metodologías, datos y personas (usuarios), perfectamente integrado, de manera que hace posible la recolección de datos, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos georreferenciados, así como la producción de información derivada de su aplicación”. (Fuente: <http://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/Introduccion>)

Los datos georreferenciados, son referidos a una posición con respecto a un sistema de coordenadas terrestres. La tecnología de los SIG busca articular las bases de datos gráficas con las bases de datos alfanuméricas que representan los diferentes rasgos del territorio, como caminos, cursos de agua, asentamientos poblacionales, actividades económicas, etc.

Con los SIG se modela la realidad territorial para convertirla en datos geográficos, manipulados en un entorno informatizado. Para lograr estos objetivos se utilizan modelos de representación ráster y vectorial.

El modelo ráster se utiliza habitualmente para representar fenómenos de la realidad que se presentan de manera continua en el espacio. En este caso el espacio se suele dividir en celdas regulares, donde cada una de estas celdas presenta un valor, tal como se muestra en la Figura 2. Los rasgos del territorio se reconocen al analizar en conjunto dichos elementos, como sucede al visualizar una fotografía aérea compuesta de una infinidad de píxeles, o una grilla que representa las precipitaciones caídas a lo largo de un año.

Este modelo fue el primero en ser utilizado y está representado principalmente por el uso de imágenes proveniente de satélites o fotografías aéreas digitales, aunque cada vez es mayor la utilización de esta información matricial para realizar diversos procedimientos de análisis espacial. (Instituto Geográfico Nacional, 2019)

Referencia:

1. Unidad Espacial A

2. Unidad Espacial B

3. Unidad Espacial C

4. Unidad Espacial D

1	1	3	3	3	3	4
1	1	1	3	3	4	4
1	1	2	3	3	4	4
2	2	2	2	4	4	4
2	2	2	2	4	4	4

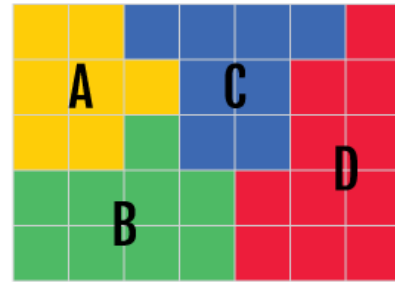


Figura 2. Modelo de representación ráster. (Instituto Geográfico Nacional, 2019)

En cambio, el modelo de representación vectorial modeliza los datos valiéndose de primitivas geométricas, tales como puntos, líneas y polígonos esquematizados en la Figura 3. Adosados a dichas geometrías, se encuentran los atributos temáticos de los fenómenos que representan.

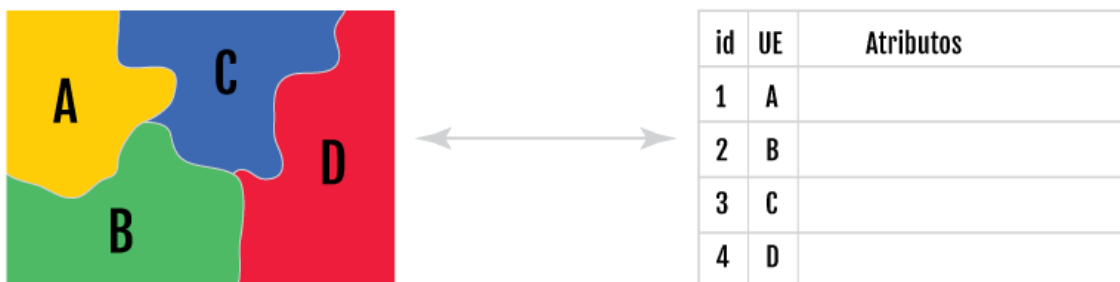


Figura 3. Modelo de representación vectorial (Instituto Geográfico Nacional, 2019)

### 2.3) Energías renovables

Se entiende por **energía renovable** la energía producida o derivada de fuentes que se renuevan ilimitadamente, como la hídrica, solar y eólica, o generada por combustibles renovables, como la biomasa producida en forma sostenible. Dicha energía se expresa generalmente en unidades de energía y, en el caso de los combustibles, se basan en valores caloríficos netos. (FAO, 2019).

Las fuentes primarias de energías renovables son solar, eólica, geotérmica, biomasa e hidráulica.

El concepto de energía renovable abarca categorías heterogéneas de tecnologías. Algunos tipos de energía renovable permiten suministrar electricidad y energía térmica y mecánica, y producir combustibles capaces de cubrir las múltiples necesidades de los servicios energéticos.

Algunas tecnologías de la energía renovable pueden ser adoptadas en el lugar de consumo (en régimen descentralizado) en medios rurales y urbanos, mientras que otras son implantadas principalmente en redes de suministro de gran tamaño (en régimen centralizado). Aunque es cada vez mayor el número de tecnologías de la energía renovable técnicamente avanzadas que han sido adoptadas en mediana escala, otras se encuentran en una fase menos evolucionada y su presencia comercial es más incipiente, o bien abastecen nichos del mercado especializados. (Castella et al, 2017)

Las principales energías renovables son la eólica, solar, biomasa, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, undimotriz y los biocombustibles.



**Energía Eólica:** Proviene de la conversión de la energía cinética que poseen las masas de aire en movimiento hacia energía mecánica y luego a energía eléctrica. Se aplica para producir electricidad o para el bombeo de agua.

**Energía Solar:** Es obtenida a partir de la radiación electromagnética procedente del Sol, que puede ser aprovechada por medio de captadores o colectores térmicos, o a través de los llamados módulos fotovoltaicos. Para la transformación de la energía solar en calor se emplean tres tipos de sistemas de baja, media y alta temperatura.

**Energía de biomasa:** Energía solar, convertida en materia orgánica por la vegetación, que se puede recuperar por combustión directa o transformando la materia en otros combustibles, como alcohol, metanol, aceite, biodiesel, biocarburantes, biogás, etc.

**Energía geotérmica:** Se obtiene del aprovechamiento del calor del interior de la tierra, transmitido a través de los cuerpos de roca caliente o reservorios por convección y conducción.

**Energía hidroeléctrica:** Se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de las corrientes del agua, saltos de agua o mareas.

**Energía mareomotriz:** Proviene del aprovechamiento de las mareas, para la generación de electricidad.

**Energía undimotriz:** También llamada energía a partir del movimiento de las olas. Utiliza la fuerza con la que se desplaza determinada masa de agua a causa del rozamiento con las corrientes de aire, es decir el oleaje.

**Biocombustibles:** Se denominan biocombustibles de primera generación a los combustibles que se producen a partir de aceites o azúcares comestibles provenientes de plantas como maíz, caña de azúcar, girasol o soja. Los biocombustibles de segunda generación se obtienen con materias primas no aprovechables para alimentación humana, como residuos forestales y agrícolas, que tienen elevado contenido de celulosa y lignina, principales componentes de las paredes celulares de las plantas. (Ramos, F et al., 2016).

### **2.3.1 Energías renovables y cambio climático**

El cambio climático se caracteriza por un alto grado de heterogeneidad en los orígenes de las emisiones, los impactos climáticos y la capacidad para la mitigación y adaptación. Los factores principales que impulsan el aumento de las emisiones globales de gases de efecto invernadero son el crecimiento de la economía y de la población. Estos factores han estado vinculados históricamente con los niveles de emisiones y dicha correlación no variará si no se realizan esfuerzos adicionales.

De las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) en el año 2010, el 35% corresponden al sector energético, el 24% a la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo, el 18% a la industria, el 14% al transporte, el 6% a la edificación y el 3% a los residuos. Si las emisiones asociadas a la producción de electricidad y calor se asignan al sector que utiliza esas energías, la contribución de los sectores industrial y de edificación se incrementa hasta el 31% y el 19% respectivamente. (IPCC, 2015)

Las proyecciones realizadas por el IPCC definen diferentes escenarios posibles de emisión de GEI hasta el año 2100. Para dicha fecha el IPCC recomienda que la temperatura media del planeta no aumente más de 2°C en comparación con niveles preindustriales. Demorar la adopción de mayores esfuerzos en mitigación puede dificultar sustancialmente la transición hacia niveles bajos de emisiones a más largo plazo, estrechar el abanico de posibilidades e incrementar los costes de la mitigación en las décadas venideras.

Para mitigar el cambio climático será necesario descarbonizar el sector energético, reducir la demanda de energía y lograr que los consumidores de energía final cambien a combustibles bajos en carbono, incluyendo la electricidad. Las principales medidas de mitigación se dirigen hacia la mejora en eficiencia energética, la reducción de la intensidad energética, la sustitución de combustibles fósiles, el desarrollo de las energías renovables, el desarrollo orientado al transporte sostenible, la reducción de la deforestación, una gestión de los cultivos y los sistemas ganaderos, el fomento de la bioenergía y la captura y almacenamiento de carbono. (IPCC, 2015)

Las energías renovables tienen un gran potencial para mitigar el cambio climático. Su impacto ambiental es de menor magnitud respecto a las energías no renovables, dado que además de no emplear recursos finitos, generan menos o nula cantidad de contaminantes. Además, pueden aportar otros beneficios. Si se utilizan de forma adecuada, pueden contribuir al desarrollo social y económico, favorecer el acceso a la energía y la seguridad del suministro de energía, reducir sus efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud, fomentar la industria nacional e impulsar el turismo. Implican una diversificación energética y la esperanza de desarrollo para comunidades pobres y aisladas que no están conectadas a las grillas de transporte y distribución eléctrica.

En la mayoría de las situaciones será necesario adoptar políticas orientadas a fomentar modificaciones al sistema energético que incrementen la proporción de la energía renovable en el conjunto de energías. La adopción de tecnologías de la energía renovable ha aumentado rápidamente en los últimos años y las proyecciones indican que su porcentaje de utilización aumentará sustancialmente en los escenarios de mitigación más ambiciosos.

### **2.3.2 Energías renovables en Argentina**

El despliegue de las energías renovables en la Argentina se asienta sobre un marco jurídico y regulatorio, generando una política de Estado que se materializa a ritmo creciente. En los últimos años se ha desarrollado un marco normativo con el objetivo de promover el uso de energías renovables, lo que impulsa de forma determinante el desarrollo de las mismas.

La normativa considera como fuentes de energías renovables a las siguientes tecnologías: eólica, solar térmica, solar fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz, undimotriz, de las corrientes marinas, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de planta de depuración, biogás y biocombustibles.

#### *Marco Normativo*

La base del derecho ambiental argentino es la Constitución Nacional. El artículo 41 de la misma declara al ambiente sano como un derecho, con lo que el cuidado de la salud humana es

prioritario en las justificaciones de la protección ambiental. Además, establece la responsabilidad de recomponer lo dañado a quien genera daño y declara que las legislaciones ambientales deben ser establecidas con leyes de presupuestos mínimos nacionales y leyes provinciales que las complementen sin alterar las jurisdicciones locales.

La **Ley N° 25.675** General del Ambiente establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.

La Legislación respecto a las Energías Renovables en Argentina inició a partir de la **Ley Nacional N° 25.019/98: Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar**, que declara interés nacional la generación de energía eléctrica de origen eólico y solar en todo el territorio nacional. Luego, la **Ley Nacional N° 26.190/07: “Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica”** declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación de servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad. Además, establece como objetivo lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el ocho por ciento (8%) del consumo de energía eléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2017. Dicha Ley fue modificada por la **Ley Nacional N° 27.191/15: “Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica”**, que establece como objetivo de la segunda etapa del régimen instituido por la ley 26.190, lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el veinte por ciento (20%) del consumo de energía eléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2025. La Ley se encuentra reglamentada por el **Decreto N° 531/2016**.

A continuación se creó la **Ley N° 27.424/17: “Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública.”**, cuyo objetivo es fijar las políticas y establecer las condiciones jurídicas y contractuales para la generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución, para su consumo, con eventual inyección de excedentes a la red, y establecer la obligación de los prestadores del servicio público de distribución de facilitar dicha inyección, asegurando el libre acceso a la red de distribución, sin perjuicio de las facultades de las provincial. Además, crea el régimen de fomento para la Fabricación Nacional de Sistemas, Equipos e insumos para Generación de Distribuida a partir de fuentes renovables.

La Provincia de Córdoba se adhiere a la Ley Nacional N° 27.424 con la **Ley N° 10.604/19** y designa al actual Ministerio de Servicios Públicos como su autoridad de aplicación en los aspectos que no sean de carácter federal. Por lo que corresponde implementar a nivel provincial todo lo atinente a la incidencia que el servicio de distribución provincial de la energía eléctrica tendrá. Esta Ley se encuentra reglamentada en el **Decreto 132/19**.

En la Resolución General 44 de ERSEP se aprueba el Cuadro Tarifario para Generación Distribuida acompañado como Anexo N° 1, aplicable por la EPEC a partir del 01 de julio de 2019. Se aprueba la Modificación de la Estructura Tarifaria actual de la EPEC, conforme lo acompañado como Anexo N°2 y se aprueba el procedimiento de cálculo y consecuentemente las tarifas y demás incorporaciones acompañadas como Anexo N° 3, aplicables por las Cooperativas Concesionarias

del Servicio Público de Distribución de Energía Eléctrica de la Provincia de Córdoba a partir del 01 de julio de 2019.

Actualmente, se está desarrollando normativa para la regulación del contrato de Usuario-Generador, medidor bidireccional, parte operativa para la solicitud de beneficios fiscales provinciales y el Registro de Instaladores Calificados categorías B y C.

Como antecedente, a nivel provincial se encuentran en vigencia:

- **Ley Provincial N° 8.810/99:** Uso racional de la Energía, que declara de Interés Provincial la generación de energía mediante fuentes renovables, en todo el territorio de la Provincia de Córdoba.
- **Ley Provincial N° 10.572/18:** “Declaración de interés provincial el uso racional y eficiente de la energía”, que declara de interés provincial el Uso Racional y Eficiente de la Energía (UREE) con el propósito de fomentar el desarrollo sustentable logrando mejoras en la competitividad de la economía, protegiendo y mejorando la calidad de vida de la población y contribuyendo con el cuidado del medio ambiente mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Ley Provincial N° 10.573/18:** “Sistemas de Aprovechamiento de Energía Solar Térmica de Baja Temperatura para el abastecimiento de Agua Caliente”, que declara de interés provincial los “Sistemas de Aprovechamiento de Energía Solar Térmica de Baja Temperatura para el abastecimiento de Agua Caliente”, así como la fabricación e instalación de los mismos, la investigación y el desarrollo de tecnología, la formación en el uso de la energía solar térmica y toda otra acción o medida conducente a la implementación de la energía renovable como fuente de producción de agua caliente de baja temperatura.
- **Decreto Provincial N° 207/19:** “Programa de Eficiencia y Sustentabilidad Energética” , que crea, en el ámbito del Ministerio de Servicios Públicos, el “Programa de Eficiencia y Sustentabilidad energética”, cuyos objetivos son identificar y formar Gestores Energéticos para la realización de relevamientos energéticos; identificar PyMEs (de los sectores: Industria, Comercio y Turismo) y Micro Emprendimientos cordobeses a los fines de determinar las medidas y oportunidades de mejoras que permitan optimizar su consumo energético y reducir el impacto de la energía en la matriz de costos; promover la difusión de créditos con tasas bonificadas, a los que las PyMEs, Micro Emprendimientos y los Usuarios Residenciales, según corresponda, podrán postular para financiar inversiones en eficiencia energética y generación de energía a partir de fuentes renovables; promover la competitividad de las empresas; y contribuir al uso eficiente de la energía y la incorporación de energías renovables, a los fines del cuidado del medioambiente y el fomento del desarrollo sostenible.
- **Resolución 414/19:** Modificación de Resolución 72/16 “Procedimiento para la Obtención del Certificado de Inclusión en el Régimen de Fomento de las Energías Renovables” y Anexos.
  - Anexo I: Procedimiento para la obtención del certificado de inclusión en el régimen de fomento de las energías renovables.
  - Anexo II: Procedimiento para el control de las inversiones y la aplicación de los beneficios fiscales.

## Resolución 119/19: Aprueba las Tarifas de Inyección para Usuarios-Generadores

### *Situación energética del país*

La demanda abastecida por fuentes renovables en el país alcanzó el 1,76% durante el primer semestre de 2018 (CAMMESA, 2008). En este sentido, incentivar el aprovechamiento de las energías renovables y dar cumplimiento a las metas establecidas supone un escenario de múltiples oportunidades y desafíos. La transformación del sector energético argentino requiere de grandes inversiones de capital, el acondicionamiento del sistema eléctrico nacional y, muy especialmente, recursos capacitados que materialicen estos objetivos. Las posibilidades en materia de generación de empleo son vastas y resulta ineludible elaborar información cuantitativa y cualitativa pertinente para proyectar escenarios, estimar la dotación de recursos y definir perfiles ocupacionales a fines de promover las capacidades formativas imprescindibles.

Según el Informe VALORES anual del 2018 de CAMMESA, como se ilustra en la Figura 4, la generación de energía a partir de fuentes renovables fue para Argentina de 2,635 GWh para el año 2017, mientras que de 3,350 GWh para el año 2018, evidenciando un crecimiento del 27.2%.

Generación de Energía 				
Principales Variables MEM	Unidades	ENE-DIC 2017	ENE-DIC 2018	% VAR
<b>OFERTA TOTAL [GWh]</b>	<b>GWh</b>	<b>137,199</b>	<b>137,825</b>	<b>0.4%</b>
Térmica	GWh	88,530	87,726	-0.9%
Hidráulica	GWh	39,584	39,952	0.9%
Nuclear	GWh	5,716	6,453	12.9%
Renovable	GWh	2,635	3,350	27.2%
Importación	GWh	734	344	-53.2%

Figura 4. Generación de Energía en Argentina (CAMMESA, 2018).

A su vez, analizando las fuentes de energía renovable, las de mayor influencia sobre la demanda en el año 2018 fueron la energía eólica, con una participación del 43%, seguida de la hidráulica a pequeña escala con 42% y la energía de la biomasa con un 8%.

Cabe destacar además que las energías renovables cubrieron un 0.5% más de la demanda en el año 2018, con respecto al año 2017, tal como se observa en la Figura 5.

## Generación Renovable – Participación sobre la demanda/fuente

Principales Variables MEM	Unidades	ENE-DIC 2017	ENE-DIC 2018
<b>FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE</b>	<b>GWh</b>	<b>2,635</b>	<b>3,350</b>
BIODIESEL	GWh	0	0
BIOMASA	GWh	243	252
EOLICO	GWh	616	1,413
HIDRO <= 50MW	GWh	1,696	1,432
SOLAR	GWh	16	108
BIOGAS	GWh	64	145
<b>Demanda MEM</b>	<b>GWh</b>	<b>132,530</b>	<b>132,999</b>
Renovables MEM/ Dem MEM	%	2.0%	2.5%

Participación sobre la demanda/fuente Año 2018

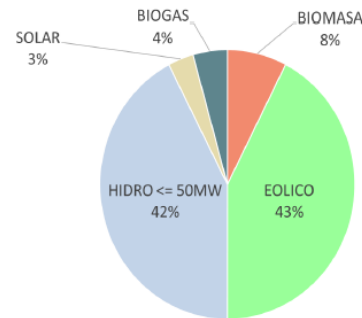


Figura 5. Generación Renovable – Participación sobre la demanda/fuente (CAMMESA, 2018)

Sin embargo, la influencia de las energías renovables en la matriz energética del país es baja. La principal fuente de energía es térmica, que posee un carácter no renovable al depender de los combustibles fósiles. Se debe tener en cuenta que las reservas de combustibles fósiles, debido a su naturaleza, han disminuido considerablemente como consecuencia de la explotación y necesidad creciente de consumo. En la actualidad, Argentina cuenta con numerosos recursos naturales que, utilizados como fuente de energía renovable, pueden solucionar el problema energético nacional si se dispone de las tecnologías adecuadas.

Las energías con potencial a desarrollar son principalmente la solar, eólica y biomasa. Según un informe realizado por la Agencia Argentina de Inversiones y Comercio Internacional, Córdoba es una de las provincias argentinas que más atracción generan para inversiones en energías renovables. Como se observa en la Figura 6, Córdoba se encuentra en el tercer puesto, luego de Buenos Aires y San Juan, considerando datos al 1 de marzo del año 2019.

## ÍNDICE PROVINCIAL DE ATRACTIVO RENOVABLE

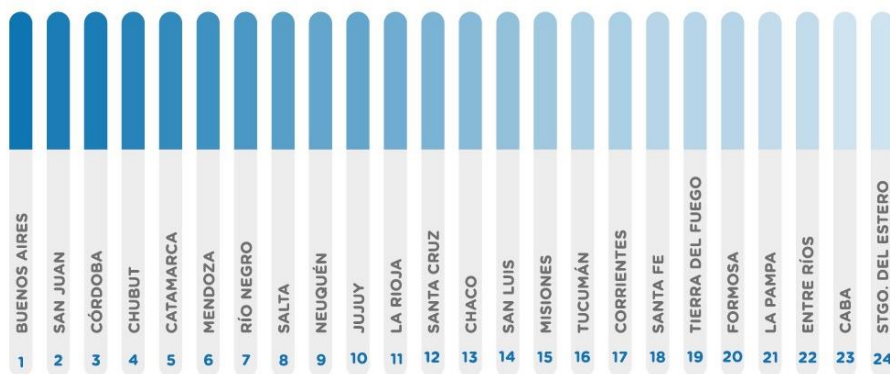


Figura 6. Índice Provincial de Atractivo Renovable (UBA FCE, 2019)

Los resultados obtenidos se basan en un Índice Provincial de Atractivo Renovable (IPAR), un reporte semestral que analiza las oportunidades de inversión en cada distrito, en función de 27 variables. El mismo es una herramienta para la toma de decisiones que señala, a través de un indicador simple y de rápido entendimiento para el público en general, las principales

oportunidades y barreras para invertir en proyectos de energías renovables en las distintas provincias del País. El IPAR se construye a partir de información disponible en la Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética del Ministerio de Hacienda Presidencia de la Nación, publicaciones en Boletines Oficiales y Legislaturas de cada jurisdicción, datos provistos por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA) y por la Secretaría de Planificación Territorial y Coordinación de Obra Pública de la Nación. (UBA FCE, 2019)

En la Provincia de Córdoba, hay incentivos económicos como forma de promover las energías renovables. Se puso en marcha el Programa Eficiencia Energética y Generación Distribuida, que cuenta con una inversión de \$600 millones para préstamos destinados a la adquisición e instalación de sistemas de generación distribuida a través de fuentes renovable y a relevamientos energéticos gratuitos para 500 PyMEs y microemprendimientos locales. (Fuente: en <https://prensa.cba.gov.ar/energia-renovable/mas-pymes-cordobesas-podran-invertir-en-eficiencia-energetica/>)

## 2.4) Biomasa

### 2.4.1 Definición

La biomasa es una fuente de energía procedente de manera indirecta del sol y se considera una fuente de energía renovable. Es energía solar almacenada en forma de energía química a través de procesos biológicos.

De acuerdo a la FAO, la biomasa es “todo material de origen biológico (excluidas las formaciones fósiles) como los cultivos energéticos, desechos y subproductos agrícolas y forestales, estiércol o biomasa microbiana”.

La biomasa comprende toda la materia orgánica originada en un proceso biológico utilizable como fuente de energía. Este proceso biológico puede ser espontáneo, como la formación de montes naturales, o un proceso provocado por acumulación de estiércol en criadero. Es decir, cualquier sustancia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales que resultan de su transformación natural o artificial.

La biomasa engloba a los productos energéticos y materias primas que se originan a partir de la materia orgánica. En consecuencia, la biomasa resulta un recurso energético renovable, es decir que bajo ciertas condiciones se renueva. Quedan excluidos de la caracterización de biomasa los combustibles fósiles o los productos derivados de ellos, a pesar de que su origen fue biológico en épocas remotas, ya que son recursos no renovables.

### 2.4.2 Origen

La biomasa se forma a partir de energía solar, mediante el proceso de fotosíntesis vegetal que, a su vez, es desencadenante de la cadena biológica.

La **fotosíntesis** es el proceso metabólico específico de ciertas células de los organismos autótrofos, por el que se sintetizan sustancias orgánicas a partir de otras inorgánicas, utilizando la energía lumínica. Mediante la fotosíntesis, se realiza una conversión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en glucosa (carbohidratos) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ) bajo la influencia de la luz. El proceso involucra dos etapas: Las reacciones dependientes de la luz y el Ciclo de Calvin.

- Las **reacciones dependientes de la luz** se producen en la membrana de los tilacoides y necesitan un suministro continuo de energía luminosa. La clorofila absorbe dicha energía, que se convierte en energía química mediante la formación de una molécula de almacenamiento de energía (ATP) y un portador de electrones reducido (NADPH). Además, las moléculas de agua se convierten en  $\text{O}_2$ .
- El **Ciclo de Calvin**, también llamado **reacciones independientes de la luz**, se lleva a cabo en el estroma y no necesita luz directa. El ciclo de Calvin utiliza el ATP y el NADPH de las reacciones descritas anteriormente para fijar el  $\text{CO}_2$  y producir azúcares de  $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_6\text{P}$  que se unen para formar la glucosa.

(Fuente: <https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/introduction-to-stages-of-photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis>)

Las etapas mencionadas se resumen en la Figura 7, que describe la fotosíntesis de forma general.

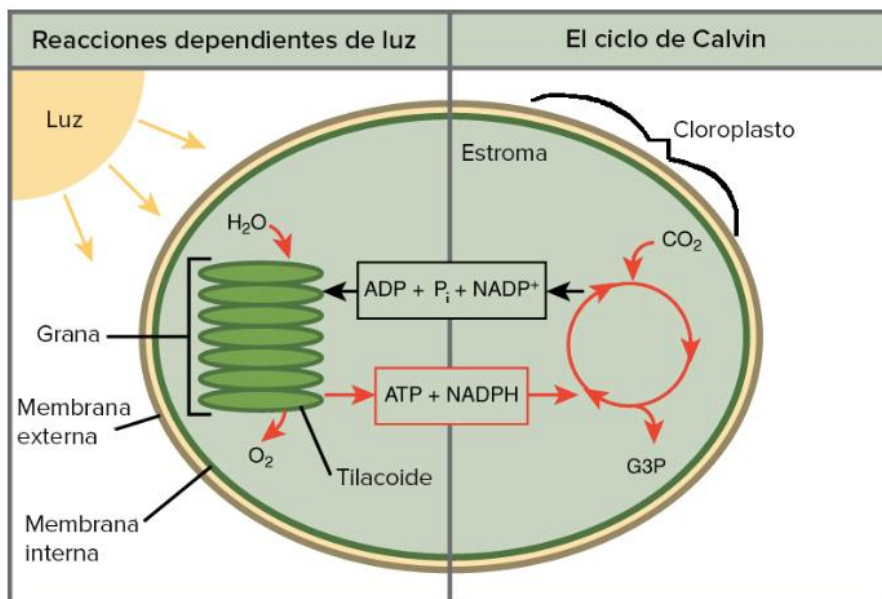


Figura 7. Descripción general de la fotosíntesis. (Fuente: <https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/introduction-to-stages-of-photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis>)

En síntesis, las reacciones químicas implicadas en el proceso son las que se indican en Figura 8.





obtener energía útil, incluyendo calor, electricidad y combustibles para el transporte. (IPCC, 2015)

## 2.5.2 Fuentes de energía

La Figura 9 muestra las principales fuentes de energía disponibles en la naturaleza, clasificadas según si su utilización puede calificarse como “Limpia” o “Contaminante” y si son renovables o no renovables.

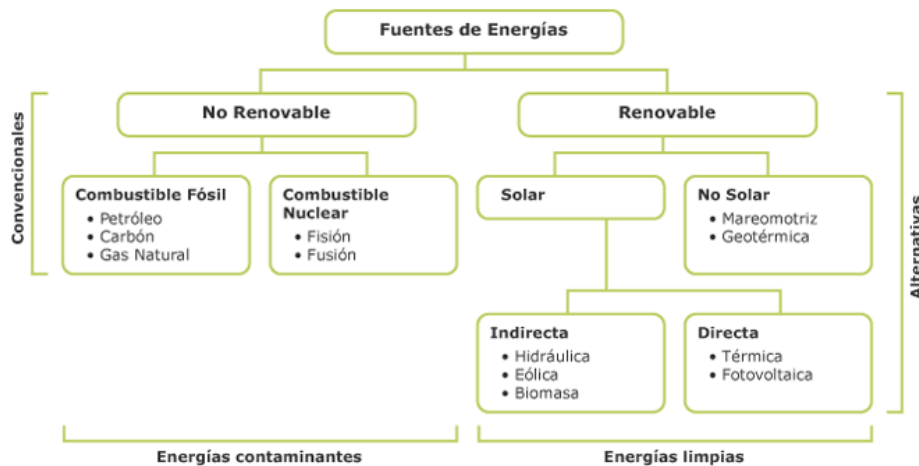


Figura 9. Fuentes de energía. (FAO, 2004)

Como se observa en la Figura 9, la biomasa es una de las fuentes de energía que reúne características de renovable, limpia, y se la incluye en las denominadas energías alternativas o no convencionales. Es importante destacar que la bioenergía solo puede ser considerada renovable si el crecimiento de la biomasa es mayor que los volúmenes cosechados y si el dióxido de carbono emitido durante la producción, transporte y elaboración no excede del que fue capturado durante el crecimiento. Además, se deben considerar las pérdidas de carbono asociadas con la reconversión de las tierras para la producción de bioenergía.

### Clasificación de las fuentes de energía

Las formas más conocidas y utilizadas de la bioenergía son los biocombustibles y la biomasa.

**Biocombustibles:** Comprenden el biodiesel, bioetanol y biogás, que son mezclados generalmente en distintas proporciones con otros combustibles convencionales para la generación de energía eléctrica o transporte. Presentan numerosas ventajas desde el punto de vista medioambiental: Poseen escaso contenido en azufre, no forman escorias en su combustión, tienen bajo contenido en cenizas y en consecuencia generan menores impactos ambientales en su utilización respecto a los combustibles fósiles. (FAO, 2019)

**Biodiesel:** Biocombustible líquido producido a partir de aceites vegetales o grasas animales de primera o segunda generación. Es biodegradable, renovable y no tóxico, libre de azufre y compuestos aromáticos potencialmente cancerígenos. (FAO, 2019)

**Bioetanol:** Principal producto obtenido de la fermentación y destilación del almidón (azúcares) contenido en la biomasa, previamente extraído por procesos enzimáticos. Se obtiene a través de féculas y cereales (trigo, maíz, centeno, arroz, papa) y azúcares (melazas de caña, melazas de remolacha, sirope de azúcar, fructosa, suero). (FAO, 2019)

**Biogás:** Producto gaseoso de la descomposición anaeróbica de materia orgánica.

**Biomasa:** La Biomasa, como recurso energético, puede clasificarse en natural, residual y cultivos energéticos.

**Natural:** Se produce en la naturaleza sin intervención humana. Puede utilizarse con fines energéticos en forma directa como leña, ramas, estiércol seco o elaborado, briquetas de carbón, pellets de diversos tipos de biomasa lignocelulósica, entre otros. La biomasa natural no constituye una fuente de energía renovable si se explota de forma intensiva, superando la capacidad de generación del ecosistema. Por lo tanto, se debe procurar no explotar de forma indiscriminada. FAO. (2019)

**Residual:** Es subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas, forestales, ganaderas, industriales y residuos urbanos.

- **Residuos agrarios**

- **Residuos agrícolas:** Fracción de las plantas cultivadas que es preciso separar para obtener el fruto o para facilitar el cultivo (pajas de cereales, residuos de poda de frutales y viñedo, tallos de cultivos textiles y de oleaginosas, entre otros).
- **Residuos forestales:** materiales que se originan en la elaboración de madera o en la limpieza de los montes (ramas, cortezas, virutas, serrín, hojas, tocones y raíces).
- **Residuos ganaderos:** deyecciones de los animales estabulados en las explotaciones ganaderas. (Fulginiti, 2018).

- **Residuos industriales:** Provenientes principalmente de industrias alimentarias y de madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles).

- **Residuos urbanos**

- **Residuos sólidos urbanos:** materiales generados en los procesos de consumo humano que son destinados al abandono; es la biomasa residual más aprovechable ya que está concentrada, es imprescindible su recogida y es necesario su transporte. (Fulginiti, 2018)
- **Aguas residuales urbanas:** líquidos procedentes de la actividad humana, cuya fracción sólida contiene una apreciable cantidad de biomasa residual; su depuración genera fangos de alta carga contaminante, que hay que reducir. (Fulginiti, 2018).

**Cultivos energéticos:** Son aquellos que están destinados específicamente a la producción de biomasa, es decir, cosechas desarrolladas con el propósito exclusivo de obtener materiales con características para ser aprovechados como fuentes de energía. Normalmente, se clasifican en cuatro tipos:

- Cultivos tradicionales: Se trata de cultivos que ha utilizado el hombre tradicionalmente. Por ejemplo, maíz, caña de azúcar, remolacha, mandioca, plantaciones forestales, entre otros.
- Cultivos poco frecuentes: Son cultivos que pueden implantarse en terrenos difíciles de explotar, que no están destinados a la alimentación. Por ejemplo, cardos, patacas, chumberas, agaves y helechos.
- Cultivos acuáticos: Se trata de plantas cultivadas sobre el agua con finalidad energética. Por ejemplo, algas convencionales y unicelulares, jacinto de agua.
- Cultivos óptimos para la obtención de combustibles líquidos: Son plantas que mediante un tratamiento sencillo pueden proporcionar combustibles líquidos con propiedades similares a los combustibles derivados del petróleo. Por ejemplo, palmeras, euforbias, ricino, jojoba, copaiba y membrillo negro.

La ventaja fundamental de los cultivos energéticos es la predictibilidad de su disposición y la concentración espacial de la biomasa, asegurando el suministro. La predictibilidad de la disposición de la materia prima es fundamental para cualquier industria. La concentración del recurso permite una gestión mecanizada, poco intensiva en mano de obra y relativamente económica.

La elección de la especie a producir responde principalmente al objetivo de maximizar la producción de biomasa medida en energía por unidad de espacio y tiempo. Para ello, se debe tener en cuenta el tipo de suelo, el tipo de producto cosechado y su posterior aprovechamiento. Además, se debe considerar que la especie se adapte a las condiciones edafo-climáticas del lugar donde se cultive, que tenga fácil manejo y requiera técnicas y maquinarias disponibles y conocidas, que tenga altos niveles de productividad en biomasa y un balance energético positivo. Teniendo en cuenta al agricultor, la producción debe ser económicamente rentable y se debe procurar, en lo posible, que la especie no tenga un gran aprovechamiento alimentario en paralelo y que la biomasa producida se adecue a los fines para los que va a ser utilizada.

Si la especie a aprovechar energéticamente es forestal, se debe tener en cuenta su precocidad de crecimiento, capacidad de acumulación de energía por unidad de volumen, capacidad de rebrote y adaptación ecológica. Además, se debe tener en cuenta la disponibilidad tecnológica para potenciar el uso de los recursos naturales. (FAO, 2019)

### **2.5.3 Situación actual del uso de bioenergía**

La demanda de biocombustibles se ha incrementado debido a la necesidad cada vez mayor de energía, el alza del costo del petróleo, la crisis internacional, la búsqueda de fuentes de energía renovables no contaminantes y el deseo de aumentar los ingresos agrícolas en los países en desarrollo. La bioenergía puede reemplazar el consumo de combustibles derivados del petróleo,

cada vez más conflictivo y oneroso, generando ahorros, reduciendo la dependencia externa y contribuyendo a la mitigación del Cambio Climático.

De acuerdo con la FAO se prevé que prosiga la expansión de los biocombustibles, aunque la contribución de los biocombustibles líquidos a los recursos energéticos para el transporte es y seguirá siendo limitada.

#### **2.5.4 Impacto Ambiental y social de la energía de biomasa**

La utilización de biomasa como fuente energética constituye un adecuado medio para la utilización de múltiples y considerables cantidades de residuos existentes, además de promover nuevas plantaciones, ya sean energéticas o de uso múltiple.

La demanda de biocombustibles se encuentra en crecimiento y, en consecuencia, hay un aumento relevante de la necesidad de contar con cultivos energéticos, como el maíz y la caña de azúcar, que pueden utilizarse como materia prima para producir biocombustibles.

Desde el punto de vista socioeconómico, utilizar cultivos energéticos implica una diversificación de la producción agrícola, generando un estímulo al desarrollo de la economía, inversiones, infraestructura (carreteras, servicios, industrias) y empleos en zonas rurales, contribuyendo así a la disminución de la pobreza. Además, fomenta la investigación y el desarrollo tecnológico, brinda un aumento en la disponibilidad de energía renovable a precios accesibles para las empresas rurales medianas y pequeñas, reduce la dependencia energética de los combustibles fósiles, permitiendo el ahorro de millones de pesos por su sustitución y diversifica la matriz energética del país.

A su vez, como impacto negativo, la utilización de cultivos energéticos implica una menor posibilidad local de producción de alimentos cuando las tierras agrícolas de subsistencia son reemplazadas con plantaciones energéticas. Esto acarrea un aumento de los precios de los alimentos para los consumidores, desplaza a los pequeños agricultores y genera una concentración de la tenencia de la tierra y de los ingresos.

Los principales impactos de la utilización de cultivos energéticos desde el punto de vista ambiental son el consumo de agua implicado en el proceso y, si el uso del recurso no se planifica adecuadamente, la posible tendencia a deforestar, implicando una pérdida de biodiversidad y un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, puede generar una disminución en la calidad y fertilidad de los suelos ocasionada por las prácticas de cultivo intensivo exigidas, aumentando la necesidad de utilizar fertilizantes. Estos impactos se podrán mitigar mediante un uso apropiado de la tierra y un ordenamiento responsable.

Es necesario una instrumentación apropiada y eficiente para aprovechar al máximo las ventajas que implica el uso de biocombustibles y su generación a partir de biomasa y a su vez disminuir sus desventajas. (FAO, 2019).

Desde el punto de vista ambiental, la utilización constituye un ciclo cerrado de carbono. Por lo tanto, no altera la composición actual de la atmósfera, a diferencia del uso de combustibles fósiles que liberan CO<sub>2</sub> que fue capturado hace millones de años, incrementando el porcentaje de este gas de efecto invernadero.

Al momento de la combustión, los biocombustibles emiten una cantidad similar a los combustibles convencionales de CO<sub>2</sub>, pero emiten una menor cantidad de azufre, hidrocarburos y material particulado. Además, debe tenerse en consideración que para producir o coleccionar la biomasa suelen utilizarse equipos y transportes que consumen combustibles fósiles y por lo tanto el balance de emisiones GEI no es estrictamente nulo.

Finalmente, la utilización de biocombustibles puede implicar modificaciones en los vehículos e infraestructuras utilizadas para las operaciones relacionadas con los combustibles.

### **2.5.5 Barreras de la bioenergía**

El aprovechamiento de la bioenergía presenta ciertas barreras, que reducen su creciente expansión. Las mismas comprenden lo técnico, económico, financiero, institucional y social.

*Barreras técnicas:* Insuficiente información sobre los recursos, desarrollo de capacidades para el diseño, operación, construcción y mantenimiento de proyectos de pequeña escala. Además, suele ocurrir que los recursos se localizan en sitios donde no hay demanda o infraestructura apta para el aprovechamiento.

*Barreras económicas y financieras:* Altos costos de inversión en equipamiento, dificultad de tramitación y altos costos de transacción, aun para los proyectos de pequeña escala, y la dificultad en la competitividad de los proyectos por el impacto de determinados subsidios.

*Barreras institucionales y sociales:* Necesidad de compatibilizar la política ambiental al proyecto, falta de consideración de las externalidades y poca disponibilidad de incentivos públicos. (FAO, 2019).

### **2.5.6 La biomasa en la República Argentina**

Desde el punto de vista agronómico y forestal, Argentina posee condiciones adecuadas para el desarrollo de los insumos básicos necesarios para la producción de energía a partir de la biomasa. Sus grandes extensiones de tierras son aptas para el desarrollo de cultivos tradicionales (soja, girasol, maiz y sorgo) y no tradicionales (ricino, cártamo, colza, etc), que son los principales insumos para la elaboración de biocombustibles. Esto implica un gran potencial y ventajas comparativas para la producción de energía a partir de biocombustibles. Argentina es, además, uno de los principales productores y exportadores mundiales de cereales y oleaginosas.

#### *Instrumentos legales*

Existen en el país instrumentos legales para sostener el desarrollo de la bioenergía. Además de la legislación relacionada con las energías renovables mencionadas en el apartado 2.3.2, específicamente en el área de energía de biomasa se agregan:

**Ley N° 26093/06:** Régimen de Regulación y Promoción de la Producción y Uso de Biocombustibles (Reglamentada por Decreto 109/07), conforma el marco legal del Programa Nacional de Biocombustibles.

**Ley N° 26334/07:** Régimen de Promoción de la Producción de Bioetanol (Extiende beneficios de la Ley 20093 a productores de caña de azúcar, ingenios azucareros y productores de bioetanol)

**Resolución 25-E/17:** Creación del “Programa para la Promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA)”. Dicho programa es una iniciativa de los Ministerios de Agricultura y de Planificación, y cuenta con la asistencia técnica de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Su objetivo principal es incrementar la producción de energía térmica y eléctrica derivada de biomasa a nivel local, provincial y nacional para asegurar un creciente suministro de energía limpia, confiable y competitiva, y a su vez, abrir nuevas oportunidades agroforestales, estimular el desarrollo regional y contribuir a mitigar el cambio climático.

Tal como se menciona en el Artículo 3 de la Resolución 25-E/17, las actividades a desarrollar en el mencionado Programa incluyen:

- Promover y consolidar una Red Institucional Bioenergética en el territorio nacional.
- Promover la actualización de un sistema de información geográfica sobre disponibilidad, accesibilidad y consumo de biomasa que exprese el potencial bioenergético a nivel nacional.
- Promover el establecimiento de emprendimientos bioenergéticos.
- Difundir información y promover la capacitación referida a bioenergía.
- Promover la reducción de emisiones de GEI del sector energético mediante la utilización de residuos orgánicos de la agricultura y agroindustria para la generación energética.

Además, en dicha Resolución se menciona la creación de:

**Proyecto TCP/ARG/3103** entre el Gobierno Nacional y la FAO, celebrado a fin de mejorar las estimaciones en la oferta y la demanda de recursos biomásicos para energía.

**Documento NAMA** (Asociaciones Nacionales Apropriadas de Mitigación) dentro de la Estrategia Nacional en Cambio Climático para la Promoción de la Energía Derivada de Biomasa.

**Proyecto de Reducción de Emisiones en la Generación de Energía** a través de la utilización de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales, en el marco del Fondo Global del Ambiente (GEF).

### **2.5.7 Procesos de transformación de biomasa en energía**

Para aprovechar energéticamente la biomasa se debe definir el tipo de tecnología a aplicar, lo que depende principalmente del contenido de humedad. Para ello, resulta conveniente clasificar a la biomasa en húmeda y seca, tal como se muestra en la Figura 10.

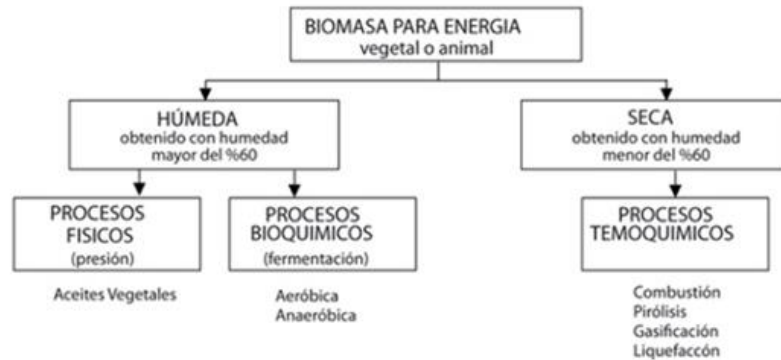


Figura 10. Clasificación de la biomasa de acuerdo con su contenido de humedad y procesos de transformación asociados. (Fulginiti, 2018)

La **Biomasa Seca** es aquella que puede obtenerse en forma natural con un tenor de humedad menor al 60%, como la leña, paja, etc. Se puede aprovechar energéticamente mediante procesos termoquímicos o fisicoquímicos, en los cuales se obtiene directamente energía térmica o productos secundarios en la forma de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

La **Biomasa Húmeda** se caracteriza por un porcentaje de humedad que supera el 60%, como por ejemplo los vegetales, residuos animales, vegetación acuática, etc. Su aprovechamiento resulta eficaz mediante procesos químicos, o en algunos casos particulares, mediante simples procesos físicos, obteniéndose combustibles líquidos y gaseosos. (FAO, 2019).

Los procesos para transformación de biomasa a energía pueden ser físicos; mediante una extracción directa de hidrocarburos; termoquímicos, como la combustión directa, gasificación, pirólisis y licuefacción; o bioquímicos, como la digestión aerobia y anaerobia. A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno. Para más información recurrir al Anexo I, en el apartado 5.1).

*Procesos físicos:* Extracción directa de hidrocarburos o compuestos afines de elevado poder calorífico, producidos por especies vegetales en su metabolismo.

*Procesos termoquímicos:* Se obtienen combustibles sólidos, líquidos o gaseosos a partir de someter la biomasa a diferentes procesos de oxidación bajo ciertas condiciones de presión, temperatura y cantidad de oxígeno. Entre los procesos termoquímicos se encuentra la combustión directa, gasificación, pirólisis y licuefacción.

*Combustión Directa:* Es el sistema más elemental para la recuperación energética de la biomasa. En este proceso, el combustible (materia orgánica) reacciona químicamente con el oxígeno en una reacción exotérmica, obteniéndose dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) cenizas, calor y, si los elementos azufre y nitrógeno forman parte de los reactivos, óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{N}_x\text{O}_2$ ).

*Gasificación:* Proceso de combustión en defecto de oxígeno, donde la biomasa es oxidada parcialmente para producir un combustible gaseoso, que contiene entre otros componentes  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y vapor de agua. Las proporciones obtenidas dependen de la composición de la materia prima y las condiciones del proceso.



**Pirolisis:** Consiste en la descomposición de la biomasa por acción del calor (a una temperatura de 450°C aproximadamente) en ausencia de oxígeno. Los productos obtenidos pueden ser residuos sólidos carbonosos (carbón vegetal), líquidos hidrocarbonatados y gases compuestos por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos. Esto depende de las propiedades de la biomasa tratada, de la temperatura y presión de operación y de los tiempos de permanencia del material en la unidad de pirolisis. (FAO, 2019)

**Licuefacción:** Proceso que se encuentra en estado de desarrollo tecnológico, permitirá obtener biocombustibles aptos para el uso en motores de combustión interna, a partir de biomasa lignocelulósica y de residuos sólidos urbanos. La licuefacción de biomasa se basa en hidrogenación indirecta. Las moléculas complejas de celulosa y lignina son rotas, el oxígeno es removido, y se adicionan átomos de hidrógeno. El producto de esa reacción química es una mezcla de hidrocarburos que al enfriarse se condensan en un líquido. (Moragues, J. et al., 2018)

**Procesos bioquímicos:** La biomasa húmeda se degrada por acción de enzimas provistas por microorganismos, contenidos en la biomasa o que se incorporan al proceso, resultando productos de alta densidad energética. Los dos procesos más utilizados son la digestión anaerobia y la fermentación alcohólica, mediante una digestión aerobia.

La digestión anaerobia ocurre en ausencia de oxígeno mediante la acción de bacterias anaeróbicas, obteniéndose biogás que contiene un 50 a 70% de metano ( $\text{CH}_4$ ), 30 a 35% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), 0.5 a 2% de Sulfuro de Hidrogeno y otros gases de menor influencia, junto con fango que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales presentes en la biomasa. El proceso se lleva a cabo en digestores, cuyo diseño, tipos y consideraciones a tener en cuenta se desarrollan en el Anexo I.

La fermentación alcohólica ocurre en presencia de oxígeno. Los hidratos de carbono contenidos en las plantas son convertidos en alcoholes por acción de microorganismos. El principal alcohol obtenido es etanol, que puede ser utilizado luego como combustible. Asimismo, las plantas contienen almidones y celulosas (hidratos de carbono complejos), que pueden también transformarse en alcoholes, aunque mediante un proceso más complejo. (FAO, 2019).

## 2.6) Generación de etanol a partir de maíz

Existe una multiplicidad de fuentes y procesos para producir bioenergía, lo que implica una dificultad para estandarizar el procedimiento con el objetivo de brindar al usuario una herramienta para generar bioenergía o seleccionar entre distintas fuentes para su producción. Además, la distribución de la materia prima para realizar los procesos no es uniforme y las condiciones locales que favorecen o no la posibilidad de generar biomasa son variables.

En la provincia de Córdoba hay una predisposición al cultivo de maíz, influenciada por su historia, tradición, condiciones climáticas y tipo de suelo, entre otros factores. Al ser Córdoba una de las principales provincias productoras del país, se asegura un alto rendimiento de producción y suministro de materia prima, hay una predictibilidad de la disposición y concentración espacial del maíz. Además, hay disponibilidad de datos, lo que facilita el análisis. En consecuencia, en el

presente informe se evalúa la factibilidad de producción de etanol a partir de maíz, contribuyendo así a la expansión de la aplicación de las energías renovables.

### 2.6.1 Maíz

El maíz es una gramínea que posee fotosíntesis de tipo C4 (fijación del carbono C4). Las plantas C4 incorporan el CO<sub>2</sub> en otros compuestos, como una adaptación para soportar mejor la luz solar intensa y la sequía. Su cultivo produce una gran cantidad de biomasa, de la que se aprovecha cerca del 50 % en forma de grano. El resto, corresponde a diversas estructuras de la planta: tallo, hoja, raíz, entre otros. Las partes de dicha planta se representan a continuación en la Figura 11.

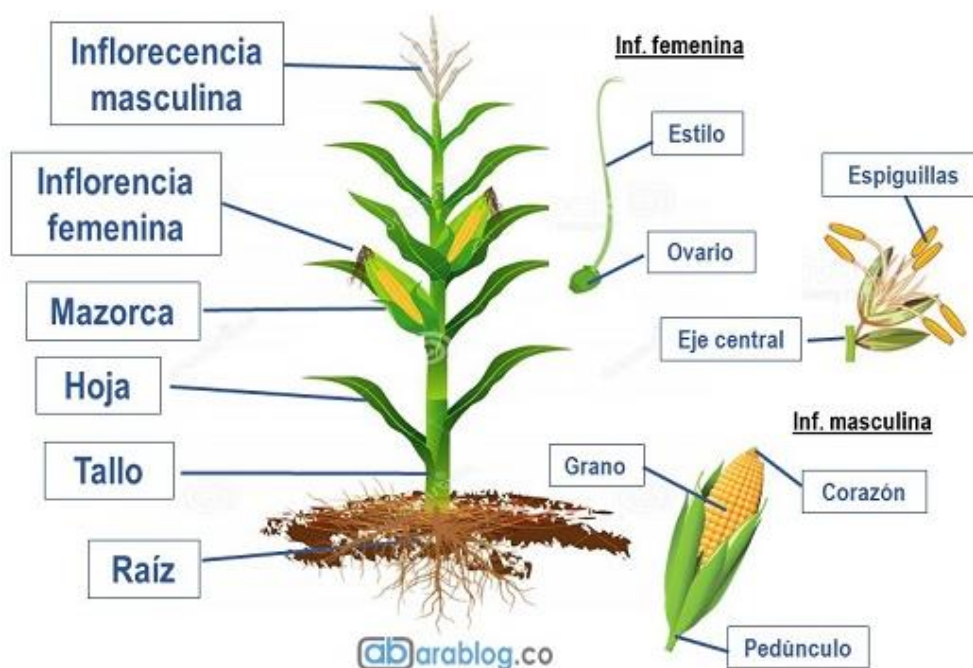


Figura 11. Partes de la planta del maíz. (Fuente: <https://www.arablog.co/partes-de-la-planta-de-maiz/>)

Con agricultura mecanizada, la producción por hectárea se sitúa, en promedio, alrededor de los 8000 kg/Ha (peso fresco de grano, con un contenido del 15 % de agua) y, en condiciones muy favorables, puede llegar a alcanzar valores de 10000 kg/Ha. El grano representa aproximadamente la mitad del peso seco aéreo de la planta. En la composición típica promedio del grano de maíz, que constituye la materia prima para la producción de bioetanol, un 66 % de su biomasa (peso seco, una vez descontado el 15 % de humedad que se considera un valor estándar) corresponde al almidón, un 3.9 % son aceites y cerca de un 29 % corresponde al gluten con diferentes proporciones de proteínas. La producción de biomasa residual (cañas, hojas, chalas y mazorcas), oscila entre 7 y 10 toneladas de peso seco por hectárea. (Martínez, J., 2016).

#### Producción

En Argentina el maíz es un cultivo secundario de verano, que interviene principalmente en la rotación con otros cultivos como la soja, el algodón o el arroz, según las distintas zonas agroecológicas. También se encuentra como cultivo secundario que ingresa en la rotación con pasturas en las zonas ganaderas de producción de carne vacuna o de leche. Por lo tanto, en la

mayoría de los casos, los sistemas de producción no tienen una especialización prioritaria como ocurre en el caso de cultivos como la soja.

La producción requiere la inversión de cantidades considerables de energía en el cultivo. El cultivo de maíz necesita grandes volúmenes de fertilizantes, siendo el 40 % de todo el nitrógeno mundial destinado a fertilizantes (utilizados para la totalidad de los cultivos).

La técnica de cultivo utilizada en la mayoría de los casos es la Siembra directa. Argentina es líder mundial en adopción de esta tecnología, abarcando el 81% del área de cultivo en este país (27 millones de hectáreas) (INTA, 2011). La misma surge como una forma de responder a la degradación y erosión de los suelos dedicados a la agricultura, debido a la intensificación de cultivos, técnicas de labranza agresivas, pendientes del terreno y escasa reposición de nutrientes.

La siembra directa se basa en la implementación del cultivo sin remoción de suelo y con una cobertura permanente del suelo con residuos de cosecha. Esto genera el 90% menos de erosión respecto a la labranza tradicional, prolonga el ciclo agrícola, mejora el aprovechamiento del agua y contribuye al balance de materia orgánica. Además, reduce la cantidad de maquinaria utilizada, disminuyendo en un 40% el consumo de combustible respecto a labranza tradicional y finalmente, permite obtener un 25 a 40% más de rendimiento de los cultivos a iguales precipitaciones con mayor estabilidad a través de los años. (INTA, 2011)

La producción argentina de maíz hasta mediados de la década del '90 promediaba 10 millones de toneladas; pero a partir de la campaña 1996/97 comenzó a experimentar un constante crecimiento, pasando de una tasa anual de crecimiento del 3.3% a una del 8.8%.

La producción de maíz de la campaña 2002/03 fue de algo más de 15 millones de toneladas con un rinde promedio nacional de 6530 Kg/ha para un área sembrada de 3 millones de hectáreas. En la campaña 2010/11 la producción llegó a 23.8 millones de toneladas de maíz comercial, superando el máximo volumen alcanzado hasta el momento; y a este volumen se le debe agregar unas 850 mil hectáreas que tienen destino forrajero y que no ingresan al circuito comercial.

Según el Informe Agrícola N°178 de la Bolsa de Cereales de Córdoba, las expectativas de siembra de maíz se encuentran en los niveles más altos registrados en la historia, con una superficie estimada de 3.008.600 ha para la campaña 2019/20 en Córdoba, en el caso de que las condiciones climáticas y económicas sean favorables. Este valor representa un aumento interanual del 8% respecto a la campaña precedente y sería la quinta campaña seguida en la que se observa un aumento de la superficie productiva. El aumento de la misma se justifica por el actual esquema de derechos de explotación, en el cual hay una diferencia favorable del maíz con respecto a la soja.

Finalmente, la cadena del maíz argentino transita un proceso de cambio, puesto que se está incrementando aceleradamente la demanda nacional de alimentos balanceados por el sector pecuario (bovino, porcino y aviar), dado el mayor consumo de sus subproductos (ej. carnes, leche y productos lácteos), así como también el consumo de los productos de las molindas (húmeda y seca) y de los biocombustibles. (MAIZAR, 2013)

### Geografía de la producción de maíz

El sector del país que concentra la mayor producción de maíz es la región pampeana, que cuenta con una extensión aproximada de 9 millones de hectáreas y es conocida como una de las cinco planicies más fértiles del mundo. La llanura pampeana, tal como se observa en la Figura 12, se extiende por la provincia de Entre Ríos, la mitad sur de Santa Fe, gran parte de Córdoba, La Pampa, casi toda la provincia de Buenos Aires y el sureste de San Luis.

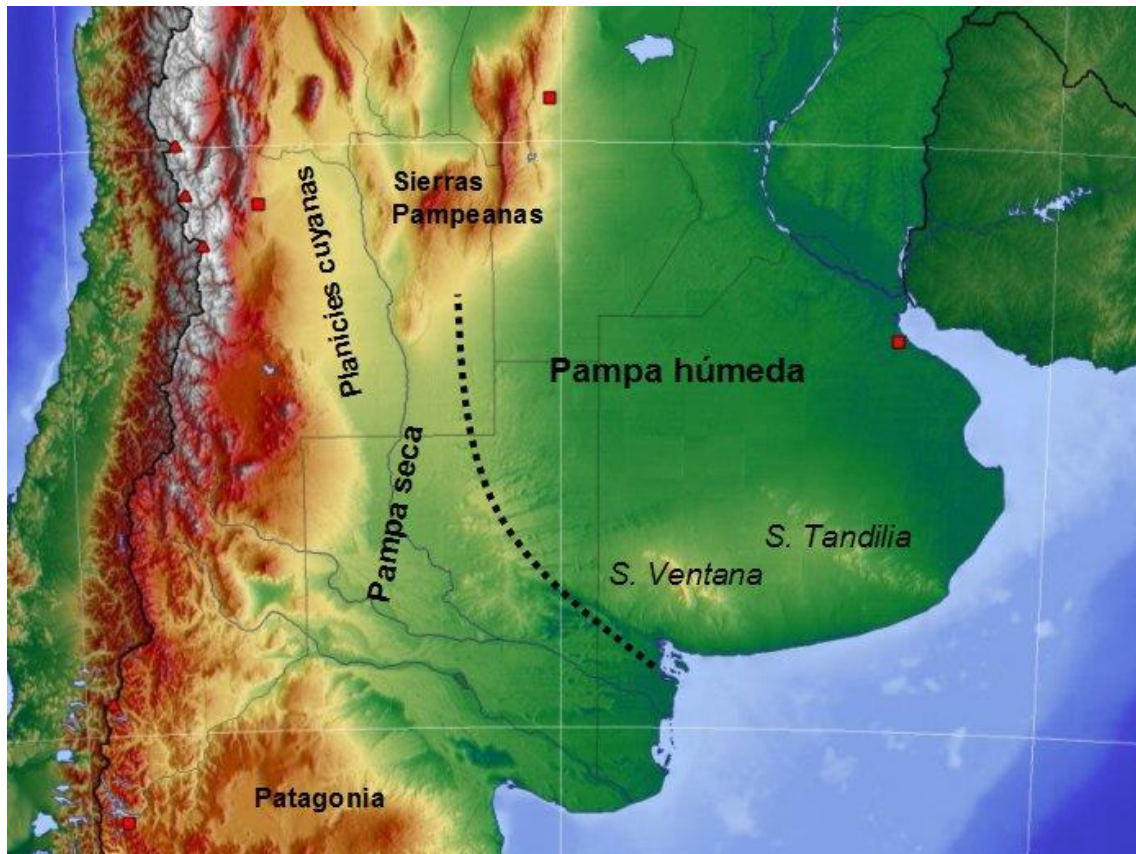


Figura 12. Región pampeana de Argentina. (Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%B3n\\_pampeana#/media/Archivo:Regi%C3%B3n\\_pampeana.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%B3n_pampeana#/media/Archivo:Regi%C3%B3n_pampeana.jpg))

La llanura pampeana cuenta con potencial para producir casi todos los productos primarios y tiene una capacidad importante para expandir el área cultivada. Además, dispone de excelentes condiciones climáticas que le permiten obtener dos cosechas por año en algunas áreas. Por lo tanto, el cultivo de maíz alcanza su máximo desarrollo en la región pampeana por su gran extensión de tierras fértiles y clima templado.

La producción se centra sobre todo en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe que juntas constituyen la “Zona núcleo”. Esta zona concentra el 70% de la superficie total de maíz sembrado en el país, y contribuyen con el 77% de la producción nacional. (MAIZAR, 2013)

El resto de las provincias donde se produce maíz se conoce como “Zona marginal”, en la cual se vienen verificando una serie de factores que están beneficiando la producción de maíz en esta zona; la cual se refleja en los aumentos de área en provincias como Santiago del Estero, San Luis, Salta y Corrientes, entre otros, aunque a costa de la disminución de áreas dedicadas a la ganadería y de superficie de bosque nativo. Uno de los factores que dio lugar a estos cambios es el uso de nuevas tecnologías aplicadas (mejores semillas) que permitieron la expansión de la

superficie hacia zonas más frías, menos fértiles y más secas; comenzando a desarrollarse así tecnologías específicas para estas zonas.

## 2.6.2 Bioetanol

El bioetanol, también llamado etanol de biomasa, se obtiene a partir de caña de azúcar, maíz, sorgo, remolacha o de algunos cereales como trigo o cebada.

El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa o almidón.

En la obtención de etanol, el grano se procesa y se mezcla con levadura para convertir el almidón en alcohol (etanol) y dióxido de carbono. El etanol se separa por destilación y el líquido restante se centrifuga para eliminar parte del agua. El proceso se detalla en el Apartado 2.6.5. Los residuos resultantes se denominan granos húmedos de destilería o “burlandas” y contienen, de manera concentrada, la mayor parte de la fibra, lípidos, proteínas y minerales que se encuentran en los granos originales.

### *Características Físicas:*

- FÓRMULA QUÍMICA: **CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH / C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O**
- Masa molecular: 46.1
- Punto de ebullición: 79°C
- Punto de fusión: -117°C
- Densidad relativa (agua = 1): 0,789
- Solubilidad en agua: miscible
- Presión de vapor, kPa a 20°C: 5,8
- Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,6
- Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,03
- Punto de inflamación: 13°C c.c.
- Temperatura de autoignición: 363°C
- Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.3-19
- Coeficiente de partición octanol/agua como log Pow: -0.32
- Estado físico, aspecto: Líquido incoloro, de olor característico.
- Peligros físicos: El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.
- Peligros químicos: Reacciona lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como ácido nítrico, nitrato de plata, nitrato de mercurio o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.
- Límites de exposición:
  - o TLV: 1000 ppm (como TWA), A4 (no clasificable como cancerígeno humano) (ACGIH 2004).
  - o MAK: 500 ppm; 960 mg/m<sup>3</sup>; Categoría de limitación de pico: II (2),
  - o Cancerígeno: categoría 5,

- Mutágeno: categoría 5,
- Riesgo para el embarazo: grupo C.
- Vías de exposición: La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.
- Riesgo de inhalación: Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.
- Efectos de exposición de corta duración: La sustancia irrita los ojos. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar irritación de los ojos y del tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.
- Efectos de exposición prolongada o repetida: El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y al sistema nervioso central, dando lugar a irritación, dolor (IPCS, CE, 2005)

El etanol puede ser utilizado como combustible. Si se compara con la gasolina, el etanol posee las siguientes propiedades:

- Poder calorífico menor: menor potencia y mayor consumo
- Calidad antidetonante mayor (mayor índice de octano): mayor aceleración y velocidad punta
- Calor de vaporización mayor: dificultades en el arranque pero mayor rendimiento
- Punto de ebullición constante: problemas de arranque

Si el etanol se mezcla con combustible en una proporción menor al 10%, el combustible con bajo contenido en alcoholes presenta idéntico rendimiento y potencia. Además, no se requieren modificaciones complejas y costosas en el vehículo, solo regular la inyección/carburación. Desde el punto de vista ambiental, las emisiones son del mismo orden que las de la gasolina.

#### *Situación en Argentina*

El incremento en la utilización de combustibles como el etanol en nuestro país responde a incentivos gubernamentales, tales como la Ley 26.093/06 (Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles), Resoluciones emparentadas y Acuerdos como el "Acuerdo de Abastecimiento" (Resolución SE Nº 7/2010), entre otras mencionadas en el apartado 2.3.2. Esto responde a políticas públicas motivadas en gran parte por el deseo de mejorar la calidad del aire y mejorar la seguridad energética a través de la generación de una matriz energética más diversa. En esta línea, las nuevas tecnologías de producción logran mayores eficiencias y menores costos que los logrados años atrás. Agencias ambientales como la EPA (Environmental Protection Agency) en USA promueven la utilización del etanol mezclado con los combustibles para incrementar su octanaje reemplazando los aditivos con plomo (USDA, 2002).

En Brasil, se desarrollan vehículos que operan con flexibilidad en el tipo de combustible, llamados comúnmente "flex". El motor permite el uso indistinto de gasolina en cualquier proporción o etanol puro. Dichos vehículos están disponibles en el mercado desde 2003 y resultaron un éxito comercial.

La mezcla con las naftas permite además alcanzar el grado de compuestos oxigenados requerido en los acuerdos internacionales. Además, las autoridades agrícolas ven en la expansión de la

industria del etanol un medio para estabilizar los ingresos agrícolas y afrontar la reducción de los subsidios.

Cabe destacar además que en la provincia de Córdoba ya hay tres plantas productoras de bioetanol. La empresa Bio 4 se instaló en el año 2012 en Río Cuarto para construir una planta con una capacidad de elaboración de 80 millones de litros anuales. En 2013 la sociedad entre Aceitera General Deheza y Bunge invirtió en Promaíz, un complejo industrial ubicado en Alejandro Roca (departamento Juárez Celman), con una capacidad para producir 140 millones de litros de etanol por año. Meses después, en Villa María, la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) concretó la construcción de su planta (ACA Bio), con la intención inicial de proveer al mercado doméstico de 125 millones de litros.

Durante el 2017, la elaboración nacional de etanol (tanto de caña como de maíz) fue de 1.105 millones de litros, de los cuales Córdoba aportó 35%.

(Fuente: <https://www.lavoz.com.ar/negocios/la-industria-local-del-etanol-acelera-con-mas-inversion>)

### **2.6.3 Burlanda (Sólidos Insolubles)**

La burlanda, término que se ha popularizado como denominación de los granos de destilería, comenzó a producirse en 2004 en Estados Unidos y se fue extendiendo al resto del mundo.

El etanol se separa por destilación y el líquido restante se centrifuga para eliminar un porcentaje del agua que contiene. Los residuos sólidos resultantes se denominan granos húmedos de destilería o “burlandas” y contienen, de manera concentrada, la mayor parte de la fibra, lípidos, proteínas y minerales que se encuentran en los granos originales.

Los subproductos del etanol pueden emplearse tanto húmedos como deshidratados, siendo el primero el más común en la actualidad. A nivel internacional se los conoce con las siglas en inglés: WDG (húmedos) y DDG (secos). Si contienen los solubles (vinaza) se los denomina: WDSG (húmedos) y DDSG (secos). (Pasinato, A., 2017)

La composición química y el perfil nutricional de los subproductos del destilado de granos es variable, tal como sucede con la mayoría de los subproductos agroindustriales. La valoración nutricional se basa en dos factores principales, la composición nutricional y su variabilidad. En los subproductos la concentración de nutrientes presentes en la materia prima (granos) que no se consumen durante la producción de etanol (ej., materia grasa total o extracto etéreo, proteína bruta, fibra, minerales) en virtud de la relación de producción prácticamente se triplican.

Los granos destilados húmedos con solubles (GDHS o WDGS - Wet Distillers Grains plus Solubles) presentan un 31 a 36% de materia seca.

Los granos destilados secos con solubles (GDSS o DDGS - Dry Distillers Grains plus Solubles) presentan entre un 85 y un 90% de materia seca. (Pasinato, A., 2017)

## 2.6.4 Vinaza liviana (Sólidos Solubles)

El líquido o vinaza eliminada por centrifugación, que contiene los sólidos solubles, puede concentrarse por evaporación, obteniéndose un jarabe con una consistencia similar a la melaza. Los solubles son muy ricos en nutrientes y pueden ser nuevamente incorporados a la burlanda proveyendo más energía. Por lo tanto, resultan muy recomendables como suplemento dietario para animales.

Los solubles de destilería condensados (SDC, o CDS - Condensed Distillers Solubles) forman un jarabe de 25 a 45% de materia seca y alto contenido de fósforo (P- 1,57%) y azufre (S-0.92%) (Erickson et al., 2005).

## 2.6.5 Principales Procesos para la generación de etanol a partir de maíz

El maíz y otros cereales pueden ser procesados mediante dos tecnologías: molienda en seco o en húmedo. Dichos procesos ocurren en grandes instalaciones denominadas destilerías. En la Figura 13 se puede observar una destilería ubicada en Alejandro Roca, departamento Juárez Celman, provincia de Córdoba, de la empresa PROMAIZ.



Figura 13. Gran destilería. (Fuente: <http://www.promaiz.com.ar/>)

Actualmente, la empresa cordobesa PORTA Hnos. S.A. desarrolló las “MiniDest”, pequeñas destilerías modulares, automáticas y de operación remota, como se observa en la Figura 14, para ser instaladas en establecimientos agropecuarios con la finalidad de producir etanol de maíz y alimento animal. MiniDest funciona totalmente integrada a los procesos del campo, está ideada para maximizar el resultado de los establecimientos agropecuarios, ya que permite industrializar el maíz en su lugar de cosecha, obteniendo energía limpia y alimento animal de alto valor nutricional. (Fuente: <http://www.minidest.com.ar/>)





Figura 14. MiniDest. (Fuente: <http://www.minidest.com.ar/>)

Las MiniDest utilizan 40 toneladas de maíz/día, generando 15.000 l de etanol/día. El etanol producido es de 95 grados (No apto para uso alimenticio).

Producen 40 ton/día de burlanda Húmeda (27%MS) + 70.000 l/día de Burlanda Líquida (4% MS – suministrada vía bebederos), además de 0.37 litros por kg de maíz.

En la Figura 15 se presenta un esquema general de los procesos llevados a cabo en una planta tipo de producción de bioetanol y de los posibles destinos para los coproductos y desechos. El proceso es análogo para destilerías y mini destilerías.

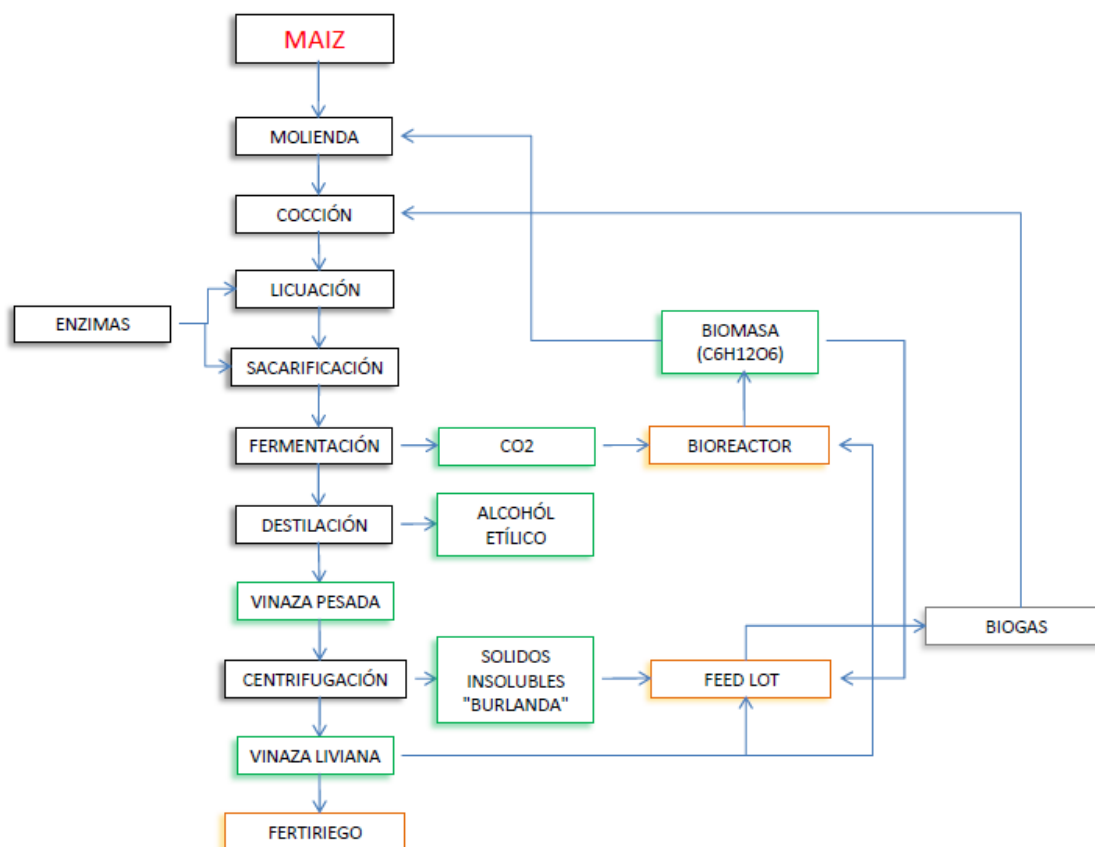


Figura 15. Esquema de procesos en la producción de bioetanol. (Fulginiti, 2018)

El proceso comienza con la molienda seca, donde se limpia el grano de maíz, que luego pasa a través de molinos a martillo que lo muelen en un polvo fino (harina de maíz). La harina de maíz es enviada por medio de un transporte mecánico a tanques donde se la mezcla con agua y enzimas (alfa amilasa). Se eleva la temperatura mediante la recuperación de energía térmica de la vinaza pesada, para alcanzar una temperatura de trabajo de 60/62°C y poder comenzar con el proceso de cocción y licuefacción del almidón. Durante esta etapa se controla el pH de la cocción con el agregado de ácido sulfúrico o soda cáustica.

El mosto obtenido anteriormente, mediante el proceso de sacarificación es enfriado a 33°C/35°C y se le agrega una enzima secundaria (glucoamilasa) para convertir las moléculas del almidón en azúcares fermentables (dextrosa). Las enzimas funcionan como catalizadores para acelerar los cambios químicos. Luego, se obtiene el etanol como producto de la fermentación producida por el agregado de levaduras del género *Saccharomyces Cerevisiae*. Al mosto sacarificado se le agrega levadura para fermentar los azúcares (cada molécula de glucosa produce dos moléculas de etanol y dos de dióxido de carbono) y con ello se obtiene el etanol y el anhídrido carbónico. La fermentación se realiza por batch, demorando aproximadamente 60 h para convertir la glucosa libre disponible en alcohol y lograr un grado alcohólico de 13.5/14 %. En la fermentación, el etanol conserva mucha de la energía presente originalmente en el azúcar, y como consecuencia el etanol es un excelente combustible.

El mosto fermentado, con un contenido alcohólico de 13.5/14%, es enviado a una columna destiladora, que realizará la separación del alcohol del resto de los componentes que conforman el mosto fermentado. En esta etapa del proceso se obtienen dos corrientes: Alcohol etílico

comercial al 95% de pureza (que es enviado al parque de tanques) y vinaza pesada, formada por el material restante presente en el mosto fermentado (proteínas, lípidos, levaduras, celulosa, restos de almidón). Esta corriente es enviada al sector de centrifugación, donde se separan por fuerza centrífuga los sólidos insolubles de los sólidos solubles presentes en la vinaza pesada. Los sólidos insolubles están constituidos principalmente por las proteínas, lípidos, fibras que contiene el maíz y las levaduras (que se agregaron para la fermentación). Este producto obtenido con una humedad del 65% y 35% de sólidos es conocido como burlanda húmeda o DWG, el cual por medio de una cinta transportadora es enviado a un feedlot como suplemento dietario para el ganado. La corriente de sólidos solubles, constituida principalmente por restos almidón, glucosa no fermentada y sales presentes en el maíz, es utilizada en fertiriego, como alimento para ganado, o enviada a un bio digestor. A su vez, en el feedlot se genera biogás, que puede ser aprovechado como combustible en el proceso de cocción, cerrando el ciclo.

Finalmente, cabe destacar que el sistema es neutro en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>, puesto que el CO<sub>2</sub> que las plantas absorben durante su crecimiento será prácticamente el mismo al que emiten durante el proceso de fermentación. Por tanto, todo el CO<sub>2</sub> emitido en el uso energético de la biomasa no contribuye al incremento de su porcentaje en la atmósfera, no alterando el efecto invernadero.

## 3) CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL BALANCE ENERGÉTICO

### 3.1) Introducción

El punto de mayor controversia respecto al etanol es su balance neto de energía. No existe consenso sobre si la energía que proporciona el etanol supera o no la energía utilizada para producirlo. Para quienes afirman que el balance neto de energía del etanol es negativo (Pimentel, D. 2003; Searchinger, T., et al. Brown, L. ,2008 entre otros), éste no constituiría un sustituto de la energía fósil y el aumento de su producción haría poco para desplazar a las importaciones de petróleo y aumentar la seguridad energética.

El enfoque de quienes se manifiestan a favor de su producción (aunque reconocen que el balance de energía es de cierta preocupación) es que la producción de etanol puede lograr una ganancia neta a través de una forma de energía más conveniente considerando las ventajas competitivas del sector y el valor de sus coproductos.

Es esencial en esta etapa de análisis, determinar la conveniencia técnica-ambiental del proyecto a partir de un balance de energía que incluya cuantitativamente los ítems inherentes a este proyecto y de forma cualitativa los aspectos conexos.

Es importante señalar que el balance neto de energía del etanol o de cualquier otro combustible que se quema (considerando la totalidad del ciclo) no puede ser positivo (Patzek, 2006). Se destaca que esta consideración es válida cada vez que se considere la totalidad del ciclo. El proceso de transformaciones nunca es perfectamente reversible como consecuencia de la tendencia a la entropía creciente de los procesos naturales.

La determinación de la energía que es posible obtener de los coproductos de la elaboración de etanol representa uno de los puntos críticos en el balance energético pudiendo incrementar o disminuir el porcentaje de energía ganada.

En el presente capítulo se analiza el balance neto de energía en la producción de etanol con el fin de valorar la conveniencia desde el punto de vista energético de la implementación del proyecto de generación.

En este tipo de análisis se distinguen tres preguntas principales para la determinación de las entradas y salidas de energía que intervienen en la producción de etanol:

1. ¿Cuánta energía se usa para cultivar la materia prima?
2. ¿Cuánta energía se usa para fabricar el etanol?
3. ¿Cuánta energía se recupera a través de los productos y coproductos?
4. ¿Cómo es la relación entre la ganancia y la pérdida energética?

En primer lugar, se expone la metodología empleada. Seguidamente se procedió a recolectar la última información vinculada al tema, en particular a los costos energéticos de los insumos requeridos en la producción de maíz y del etanol a partir del mismo.

Seguidamente se elaboró un modelo con el balance energético de los procesos intervinientes para luego aplicarlo en distintos sitios de la Provincia de Córdoba.

### 3.2) Balance energético

Para determinar el valor energético neto de la producción de etanol a partir del maíz se debe distinguir en primer lugar cuáles serán los límites del sistema estudiado de tal modo de incluir como insumos y como productos aquellos que traspasan la frontera establecida.

La estimación del consumo de energía para la determinación del valor neto de la producción de etanol a partir del maíz requiere considerar como ingresos (inputs) la suma de toda la energía no renovable necesaria para la producción del maíz, para su transformación en etanol y transporte. Como ganancias (outputs) se tiene en cuenta la cantidad de energía contenida en el etanol y sus coproductos. En base a este criterio, se justificará la implementación de un sistema de generación de bioetanol cuando el balance energético neto o tasa de retorno energético sea positivo.

El balance que se desarrolla no considera la utilización del bioetanol en motores o procesos con distintas eficiencias por lo que la frontera del volumen de control definido para el estudio fija esta condición. Complementariamente no se consideran las fuentes renovables no contabilizadas como la energía solar, el CO<sub>2</sub> y el agua no suministrada por riego complementario.

La mayoría de los estudios que abordan balances energéticos sobre este producto, incluyen sólo los insumos de energía primaria en sus estimaciones. Los insumos secundarios, como la energía necesaria para construir las plantas de producción de etanol, los vehículos agrícolas y los equipos de transporte son muy difíciles de cuantificar. Por otra parte, los insumos secundarios relacionados con la construcción de la planta de etanol poseen una baja incidencia energética al considerarse su amortización a lo largo de la vida útil de la planta, y más aún si se incluyen los coproductos que para este caso en particular son de una gran incidencia.

La inclusión del coste de desarrollo de las plantas de producción de etanol inculca un prejuicio contra ese producto, basado en la preexistencia de la infraestructura de extracción, refinado y distribución de los combustibles de origen fósil.

El equipamiento también debería ser distribuido en todos los cultivos (incluyendo cultivos no utilizados para la producción de etanol) durante la vida útil de los mismos.

Además, por la necesidad de rotar los cultivos, base de una agricultura sustentable, todos aquellos consumos de energía que pueden ser atribuibles a infraestructura de caminos, acopio, etc., deberían ser prorrateados a la totalidad de la producción agropecuaria y comercial de la zona de influencia.

Dadas las continuas mejoras en materia de producción (mayores rendimientos de maíz, menor consumo de energía en la producción de fertilizantes, implementación de BMPs...) y en la conversión a etanol (avances en las tecnologías y elaboración de coproductos) ha mejorado en gran medida la viabilidad económica y técnica de la producción de etanol.

El modelo que se desarrolla en este estudio considera la generación de etanol tomando como base un kilo de maíz. En consecuencia, todos los insumos y coproductos se encuentran referidos

a esta base unitaria. Los fertilizantes y pesticidas insumidos en kg/Ha se convierten a kg/kg de maíz utilizado y seguidamente a kcal/kg multiplicándolo por sus respectivos costos energéticos de producción. Para los combustibles que son empleados como insumos este paso es trivial (diésel 11.450 kcal/l, gasolina 16.500 kcal/l) sin embargo, el costo energético de producción de los restantes insumos cuando no existen criterios establecidos para su definición surge de estimaciones con cierta subjetividad.

El valor energético de los insumos y productos empleados se corresponde al poder calorífico superior.

### **3.2.1 Incidencia del consumo energético en la etapa de cultivo**

La determinación de la energía necesaria en la etapa de cultivo es de difícil cuantificación debido a las grandes variaciones en las prácticas de explotación y las condiciones de los cultivos. El análisis se realizó considerando la aplicación de la técnica de siembra directa, debido a que es comúnmente utilizada en el país.

En la etapa de cultivo, las variables consideradas son:

1. Rendimiento anual de producción de maíz, ya que influye directamente en la cantidad de fertilizante a aplicar.
2. Energía necesaria para la producción de semillas para la siembra.
3. Aplicación de fertilizantes: Nitrógeno, Fosforo, Potasio y Calcio.
4. Energía implicada en el uso de maquinaria agrícola: Camiones y tractores.
5. Uso de gasolina y diésel para la siembra, cosecha y secado de su cosecha.
6. Electricidad implicada en las actividades agrícolas.
7. Insecticidas y herbicidas.
8. Riego.
9. Transporte de materiales (semillas, fertilizantes, herbicidas, etc).

A continuación, se desarrollan en detalle las variables analizadas.

#### *1. Rendimiento de producción de maíz*

El maíz se cultiva de diversas maneras y bajo distintas condiciones climáticas y del suelo. Esto afecta los rindes y las cantidades y tipos de energía utilizados. El rendimiento es una parte crítica en la determinación del balance energético neto.

Con datos de Producción de maíz en la provincia de Córdoba y la superficie cosechada, se calculó el rendimiento anual del cultivo para cada departamento, considerando de forma conservadora un rendimiento promedio de las últimas 10 campañas con datos disponibles (desde la Campaña 2008/09 hasta la Campaña 2017/18), a pesar de que se observa una tendencia creciente en la producción. A su vez, se utilizaron datos de rendimiento de las principales localidades productoras en la Campaña 17/18, brindados por la Bolsa de Cereales de Córdoba. Para su utilización, debido a la falta de representatividad de los mismos, se corroboró que se encuentren dentro de los valores promedios por departamento.

Considerando que los productores disponen de tecnologías similares, el rendimiento del cultivo depende fundamentalmente de las condiciones climáticas y del suelo, por lo que se correlacionó

el rendimiento obtenido con el Índice de Productividad del suelo. El índice de productividad evalúa las tierras desde el punto de vista productivo y representa la capacidad para producir cierta cantidad de cosecha por hectárea y año, expresada como porcentaje respecto de la productividad óptima que proporcionaría un suelo ideal en su primer año de cultivo. Se puede determinar a partir del Método Paramétrico multiplicativo propuesto por Riquier-Bramao – Cornet (1970) modificado, basado en una fórmula paramétrica multiplicativa que evalúa diez factores:

$$Ipt = H \times D \times Pe \times Ta \times Tb \times Sa \times Na \times MO \times T \times E$$

Dónde:

*Ipt* = Índice de productividad de la unidad taxonómica

*H* = disponibilidad de agua

*D* = Drenaje

*Pe* = Profundidad efectiva

*Ta* = textura del horizonte superficial

*Tb* = textura del horizonte subsuperficial

*Sa* = Contenido de sales solubles (75 cm)

*Na* = alcalinidad sódica (100 cm)

*MO* = materia orgánica del horizonte superficial

*T* = capacidad de intercambio catiónico

*E* = Erosión

Estos factores se caracterizan por presentar un valor comprendido entre 1 y 100, teniendo el índice resultante también un valor entre 1 y 100. (Sacchi, G. 2018)

IDECOR generó una capa de SIG con las cartas de suelo en la provincia de Córdoba. En la misma, se presenta el Índice de Productividad en cada sitio de la provincia. A partir de dicho índice, para cada departamento y localidad mencionados en el Apartado 4.1), se determinó con una regresión cuadrática la fórmula que indica la variación del rendimiento del maíz a partir del Índice de Productividad, resultando con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,8617$ .

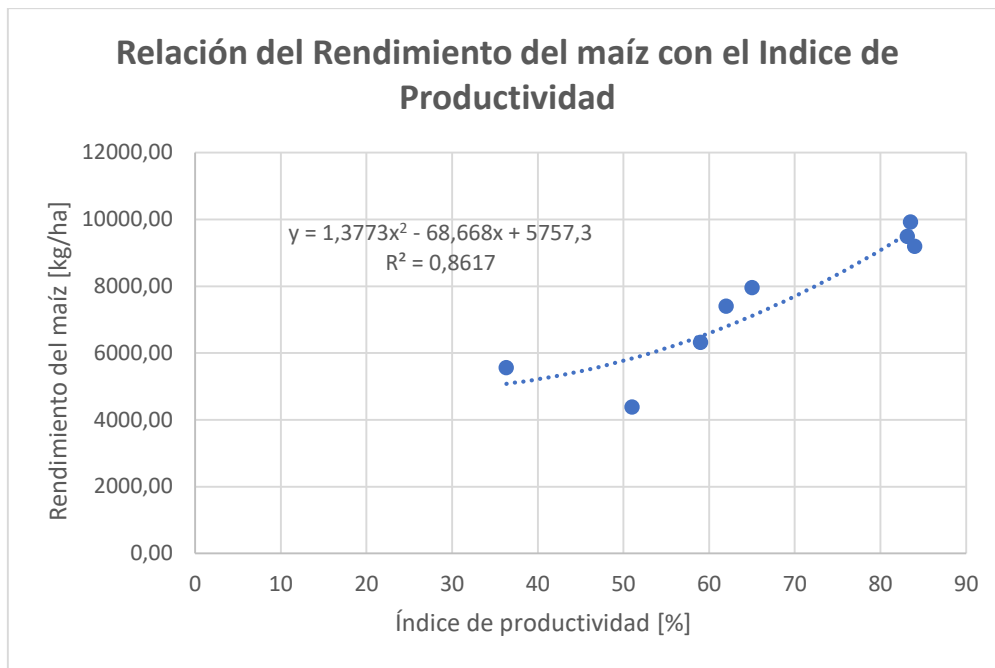


Figura 16. Relación del Rendimiento del maíz con el Índice de productividad. (Fuente: Elaboración propia)

Tal como se observa en la Figura 16, la fórmula obtenida en la regresión cuadrática es la siguiente:

$$y = 1,3773 x^2 - 68,668x + 5757,3$$

Siendo:

$$x = \text{Índice de Productividad } [\%]$$

$$y = \text{Rendimiento del maíz } [kg/ha]$$

Con la ecuación obtenida y conocido el Índice de Productividad en la Provincia de Córdoba a partir del mapa de IDECOR, se obtuvo el Rendimiento del maíz esperado punto a punto, representado en una capa de SIG como se indica en la Figura 17.



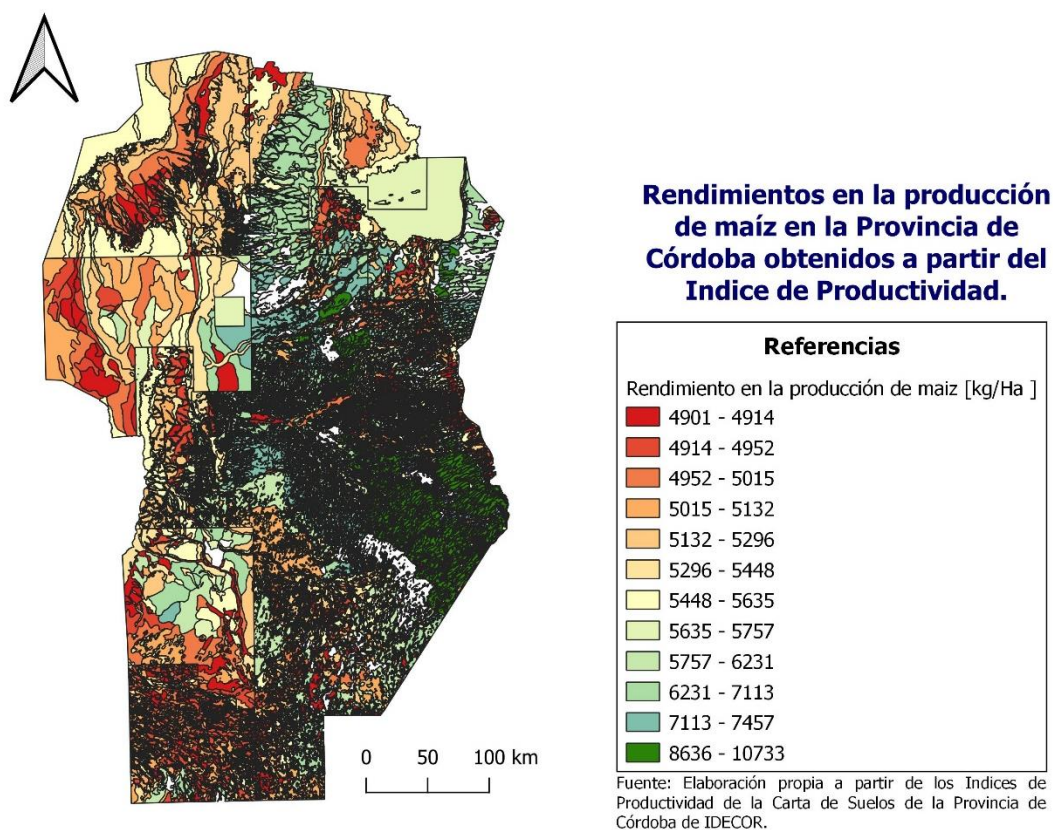


Figura 17. Rendimientos en la producción de maíz en la Provincia de Córdoba obtenidos a partir del Índice de productividad. (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, el valor de rendimiento obtenido de la ecuación anterior se utilizó para calcular los insumos agrícolas requeridos, desde una base por Hectárea a una base por Kilogramo.

### 2. Energía de la producción de semillas para la siembra

Para sembrar una hectárea se utilizan aproximadamente 21 kg de semillas de maíz. (Pimentel and Pimentel, 1996). Las distancias de siembra son: 0,90 x 0,20 cm; o 0,90 x 0,40 cm (55.555 plantas/ha) y 0,80 x 0,20 cm; o 0,80 x 0,40 cm (62.500 plantas/ha); depositando una y dos semillas en cada tranco, sitio o golpe respectivamente. Si se trata de siembra mecanizada, la sembradora se calibra para dejar caer 50 a 60 semillas por 10 metros de surco. (Fuente: <https://www.ruralytierras.gob.bo/compendio2012/files/assets/downloads/page0090.pdf>).

### 3. Energía de los Fertilizantes

A principios de 1980 comenzó a disminuir la utilización de nitrógeno por hectárea. De la misma forma y en mayor proporción se redujo el uso de fosfato y de potasa. Complementariamente la fabricación de productos químicos agrícolas se ha vuelto más eficiente. No obstante, el uso de fertilizantes de nitrógeno es el que posee mayor incidencia (aproximadamente un 40%) en toda la energía utilizada en la siembra de maíz, el cultivo y la cosecha. Si el maíz es sembrado en rotación con soja u otras legumbres, utiliza mucho menos fertilizante que el maíz cultivado de forma continua.

Agricultores en todo el país realizan en promedio 1,3 a 2,2 aplicaciones de nitrógeno por año. La medición de los niveles de nitrógeno existente en el suelo antes de efectuar aplicaciones

adicionales permite reducir las tasas de fertilizante de nitrógeno hasta en un 25% (CEAS S.A., 2017). Para ser conservadores en el análisis, esta reducción no fue tomada en cuenta en el balance.

Para determinar el consumo de energía en forma de fertilizantes se realizó un diagnóstico de fertilidad del cultivo de maíz, a partir de los niveles de absorción y extracción en el órgano cosechable para el logro de un rendimiento objetivo.

La absorción se define como la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo, presentes en sus órganos cosechables y no cosechables. En cambio, la extracción es la cantidad de nutrientes en los órganos cosechables: grano y forraje. (Ciampitti A. et al, S. f)

Al considerar que se aplica la técnica de siembra directa, los nutrientes presentes en los órganos no cosechados quedan en el sistema, por lo que se deberá reponer solo los nutrientes del órgano cosechado. En consecuencia, la fertilización requerida por el cultivo será igual al nivel de extracción del mismo.

Los requerimientos de absorción y extracción considerados se muestran a continuación y se expresan en términos de kg de nutrientes por tonelada de grano u órgano cosechable, siempre en base seca. (Ciampitti A. et al, S. f)

<b>Absorción total (kg/ton)</b>			
N	P	K	Ca
22	4	19	3
<b>Extracción en Grano (kg/ton)</b>			
N	P	K	Ca
15	3	4	0.2

Tabla 1. Cantidad de Nutriente total absorbido y extraído en grano de maíz expresado en kg de nutriente por tonelada de grano base seca (Ciampitti A. et al, S. f)

Considerando un grano con Humedad comercial (Hc) de 14.5%, de acuerdo al rendimiento del sitio, se obtuvo la fertilización requerida de Nitrógeno, Fosforo, Potasio y Magnesio de la forma:

$$\begin{aligned}
 \text{Fertilización requerida} &= \text{Extracción total del nutriente [Kg/Ha]} \\
 &= \text{Rendimiento [Tn/Ha]} \times \frac{100}{100 + Hc} \times \text{Extracción en grano [Kg/Tn]}
 \end{aligned}$$

El rendimiento utilizado fue el obtenido en el apartado anterior.

La fertilización en el sitio varía con la tecnología de manejo de cultivo, suelo, clima y ambiente. De forma conservadora, dicha variación no fue tomada en cuenta en el análisis.

Para el balance energético se consideró la aplicación de Nitrógeno como Nitrato de amonio, Fósforo como Tiofostato simple, Potasio como ceniza de potasio y Calcio como óxido de calcio.

A partir de la fertilización requerida obtenida en [kg/ha], relacionándola con el rendimiento anual de producción se obtiene la fertilización requerida en [kg].

Luego, con el costo unitario energético de cada uno de los insumos, se calculó la energía total requerida en Kcal, por kg de maíz.

#### 4. *Energía de la Maquinaria agrícola*

La fabricación y operación de la maquinaria utilizada en la agricultura intensiva del maíz, implica un consumo significativo de energía fósil. No se disponen de índices de consumo específico adecuados que posibiliten el monitoreo y control energético en las distintas unidades productivas. Sin embargo, las estimaciones de distintos investigadores indican un descenso en el consumo de energía agrícola desde 1978. Esto se atribuye a las mejoras tecnológicas y principalmente a la sustitución de maquinaria agrícola con motor naftero por motores más eficientes con combustible diésel (Uri y Day, 1991).

En el presente análisis se adoptó un promedio de aporte de energía de 50 kg/ha/año. (Fuente: <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-21-numero-1/2055-el-uso-de-la-energia-en-la-agricultura-una-vision-general>)

#### 5. *Uso de gasolina y diésel*

Para las actividades de siembra, cosecha y secado de los granos cosechados se requiere gasolina y Diésel. En el balance se consideró la utilización de 18,24 litros de gasolina/Ha y 46,3 litros de Diésel/Ha. (USDA, 2016)

#### 6. *Electricidad*

Durante algunas actividades agrícolas se necesita electricidad. En el presente análisis se adopta un requerimiento de 53 kWh/Ha, cuyo valor es analizado en la bibliografía de referencia (USDA, 2016).

#### 7. *Energía de los herbicidas e insecticidas*

La cantidad de pesticidas (herbicidas e insecticidas) aplicados a la superficie cultivada de maíz se asimiló a la presentada en la bibliografía. Los valores utilizados se presentan en la Tabla 2.

	Requerimiento [kg/ha]	Requerimiento [Kcal/ha]
Herbicidas	3.11	220431
Pesticidas	0.42	30105

Tabla 2. *Requerimientos de pesticidas para el cultivo de maíz. (Gracia, C., 2011)*

Durante años el control de malezas en maíz se ha basado en herbicidas de las familias de las triazinas y cloroacetamidas, usadas ampliamente debido al buen nivel y espectro de especies que controlan. A partir de la aparición de cultivos resistentes a herbicidas se amplió el espectro de posibilidades. Entre los herbicidas destinados en la actualidad al control de malezas no deseadas en el cultivo de maíz en nuestro país se destaca el glifosato y la atrazina.

La mezcla de herbicidas preemergentes con postemergentes da una mayor flexibilidad al momento de aplicación que usando solo postemergentes. El uso de herbicidas postemergentes tiene un espacio destacado para complementar las aplicaciones preemergentes.

#### 8. *Energía del Riego*

El riego repercute de forma significativa en el coste energético para la producción de bioetanol encontrándose vinculado de forma directa a la zona de explotación y a las fuentes disponibles.

Las características ambientales de la provincia de Córdoba son muy variables. El rango climático va desde sub húmedo a árido; la lluvia anual promedio decrece desde el sudeste (900 mm) hacia el noroeste (350 mm). Casi las dos terceras partes de la superficie provincial poseen un régimen de lluvias aceptable, que asociado a suelos de buena aptitud productiva, implica un importante aporte de los principales cultivos a la producción nacional. (Secretaría de Recursos Hídricos, 2011).

Tal como se observa en la Figura 18, la deficiencia hídrica en la provincia es variable. En la región este, la misma es de 120-200 mm/año y va aumentando gradualmente hasta alcanzar un déficit de 320-480 mm/año en la región oeste.

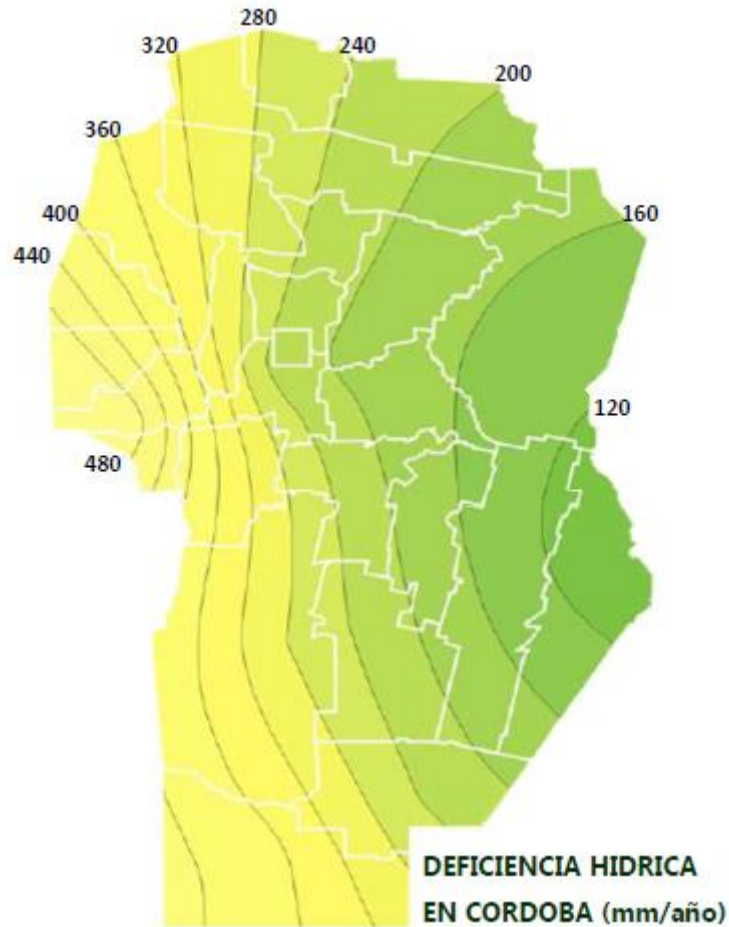


Figura 18. Deficiencia Hídrica en Córdoba. (Secretaría de Recursos Hídricos, 2011).

La superficie total provincial es de 16.532.100 ha, de las cuales 13.000.000 ha (79%) son utilizables para la producción agrícola, ganadera y forestal. En el año 2011, la superficie regada en la provincia fue de 200.000 ha. (Secretaría de Recursos Hídricos, 2011).

En base a la distribución de precipitaciones y déficit hídrico descrita anteriormente, es evidente que es posible desarrollar el cultivo de maíz a secano con buenos rindes. En el caso de ser necesario aumentar el rendimiento, se puede incorporar como complemento el riego artificial.

Los métodos más comunes de riego de maíz son el riego por surcos y el riego con pivote central. El uso estacional del agua por parte del maíz varía dependiendo de la demanda evaporativa de la atmósfera y, por consiguiente, según el clima, el momento de la estación en la que se siembre el cultivo, la duración del ciclo biológico del cultivo y la disponibilidad de agua. En situaciones de

buena distribución de agua, la ET estacional varía de menos de 500 a más de 800mm. (FAO, 2012).

Entre los cereales, el maíz es un cultivo eficiente en el uso del agua, es potencialmente el cultivo de grano de mayor rendimiento. Para obtener una producción máxima, dependiendo del clima, requiere en su ciclo entre 400 y 700 mm (Doorenbos y Pruitt, 1977).

El maíz parece ser relativamente tolerante al déficit de agua durante el periodo vegetativo y el de maduración. Para estimular un desarrollo rápido y profundo de las raíces puede ser ventajoso un agotamiento del agua algo mayor durante los periodos iniciales del desarrollo, (Doorenbos y Kassam, 1979). El déficit de agua durante el período de maduración tiene poco efecto sobre el rendimiento de grano. La mayor disminución en los rendimientos de grano la ocasiona el déficit de agua durante el período de floración incluyendo la formación de la inflorescencia, la formación del estigma y la polinización, debido principalmente a una reducción del número de granos por mazorca (Ferreya y Sellés, 1997).

Para determinar cuánta agua se debe aplicar al cultivo se debe programar el riego. La programación tiene por finalidad el ahorro de agua y de energía sin reducir la producción, determinando cuando se debe regar, cuanta cantidad se debe aplicar y en cuanto tiempo. Para los primeros dos factores, se deben tener en cuenta las necesidades de agua del cultivo y las características del suelo en cuanto a su capacidad para retener agua. Para determinar el tiempo de riego hay que tener en cuenta la velocidad de infiltración del agua en el suelo.

Las necesidades netas de riego están definidas por:

$$Nn = ET(\text{cultivo}) - Pe - AC - VA$$

Siendo:

*Nn = Necesidades netas de riego*

*ET(cultivo) = Necesidades de agua del cultivo*

*Pe = Precipitación efectiva*

*AC = Aporte capilar desde una napa freática próxima a las raíces*

*VA = Variación en el almacenamiento de agua en el suelo*

La precipitación efectiva representa la proporción de agua retenida en la capa radical con relación a la cantidad de lluvia caída.

Del total de agua de precipitación que cae sobre la superficie de un terreno, una parte se infiltra y se incorpora a la zona radical, otra parte percola en profundidad fuera del alcance de las raíces, otra parte se pierde por escorrentía superficial y otra parte queda interceptada por la vegetación, que luego se evapora. Además, ocurren pérdidas por evaporación del suelo, por lavado o lixiviación en el caso de que se precise añadir un exceso de agua para arrastrar sales fuera del alcance de las raíces, por evaporación directa desde el chorro de agua en los sistemas que pulverizan el agua y por deficiente distribución del agua. Dichas pérdidas se engloban en un coeficiente llamado Eficiencia de aplicación del agua en un sistema de riego.

En consecuencia, el volumen de agua aplicada o las necesidades totales de riego se calcula como:

$$Nt = \frac{Nn}{Ea}$$

Siendo:

$N_t$  = Necesidades totales de riego

$N_n$  = Necesidades netas de riego

$E_a$  = Eficiencia de aplicación del agua

Para determinar las necesidades de agua del cultivo,  $ET(\text{Cultivo})$ , se pueden utilizar diversos métodos. Un método directo es el lisímetro, recipiente de gran tamaño lleno de suelo donde se siembra la planta objeto de estudio y se cultiva de la forma más parecida posible a como se efectúa el cultivo en el campo. Este método es costoso y difícil, por lo que solo se realiza en trabajos de investigación. Otros métodos empíricos evalúan la evapotranspiración a partir de datos climáticos y de otra clase. Entre ellos se destacan los métodos de Blaney-Criddle, de la radiación, de Penman y de tanque evaporímetro. Según estos métodos, para calcular la evapotranspiración de un cultivo se valora antes la evapotranspiración de un cultivo de referencia, para luego relacionar ambos mediante un coeficiente de cultivo, variable del propio cultivo y con su periodo vegetativo, que se obtiene experimentalmente. La relación es la siguiente:

$$ET(\text{cultivo}) = E_{To} \times K_c$$

Siendo:

$ET(\text{cultivo})$  = Evapotranspiración de un cultivo determinado, expresado en mm/día

$E_{To}$  = Evapotranspiración del cultivo de referencia, expresado en mm/día

$K_c$  = Coeficiente de cultivo

La  $ET(\text{cultivo})$  es la evapotranspiración de un cultivo determinado en un suelo fértil, sin enfermedades y con suficiente cantidad de agua para dar una plena producción.

$E_{To}$  se define como la tasa de evaporación de un cultivo extenso y uniforme de gramíneas, de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea totalmente el suelo y no está escaso de agua. (Fuentes Y. y García L, 1999). Para calcularla, se recurre a los siguientes métodos:

- Método de Blaney-Criddle, que se aplica para períodos de un mes. Tiene en cuenta la temperatura media mensual, las horas diurnas del mes respecto a las totales, y tres niveles de humedad, insolación y viento.
- Método de la radiación, utilizado para períodos de un mes o 10 días, que considera la radiación que llega a la superficie de la tierra, la temperatura, altitud del sitio, humedad y viento del sitio.
- Método de Penman, es el más exacto de los que utilizan formas empíricas, pero exige cálculos laboriosos. Considera la presión de saturación del vapor de agua, presión real del vapor de agua, humedad relativa media, velocidad del viento a 2m de altura, radiación neta total, temperatura media del mes, latitud, altitud y relación de la velocidad del viento de día y noche.
- Método del tanque evaporímetro, que se basa en relacionar la evaporación del cultivo de referencia con la evaporación del tanque y un coeficiente del tanque, que depende del tipo de tanque, clima y medio que circunda el mismo. El tanque más utilizado es el de clase A, que es de hierro galvanizado de forma circular, con un diámetro de 124 cm y una profundidad de 25.5 cm. Se instala en un medio abierto, y se lee la altura del agua del tanque todos los días a la misma hora mediante un tornillo micrométrico situado en un depósito.

La dosis de riego es la cantidad de agua que se aplica en cada riego por cada unidad de superficie. La dosis total se calcula como:

$$Dt = \frac{100 \times H \times Da \times (Cc - Pm) \times f}{Ea}$$

Siendo

$Dt =$  Dosis total expresada en  $\frac{m^3}{Ha}$ .

$H =$  Profundidad de las raíces, en m.

$Da =$  Densidad aparente del suelo

$Cc =$  Capacidad de campo, expresado en porcentaje de suelo seco

$Pm =$  Punto de marchitamiento, expresado en porcentaje en peso de suelo seco

$f =$  Fracción de abatimiento, expresado en tanto por uno.

La Capacidad de campo se alcanza cuando el agua ocupa los poros pequeños y el aire ocupa una gran parte del espacio de los poros grandes, y en consecuencia el suelo no pierde agua por gravedad. A partir de la capacidad de campo, el suelo va perdiendo progresivamente el agua por evaporación y al ser absorbida por las plantas. Llega un momento en el que las plantas ya no pueden absorber toda el agua que necesitan y se marchitan irreversiblemente. Se dice entonces que el suelo ha alcanzado el punto de marchitamiento. Este estado marca el límite inferior de aprovechamiento del agua del suelo por las plantas. (Fuentes Y. y García L, 1999).

Para el cultivo de maíz, se considera la profundidad efectiva de la zona radical (H) como 0.8 - 1.2m y el factor de abatimiento  $f=0.40$ . (Fuentes Y. y García L, 1999).

#### Energía implicada en el riego

La energía interviniente en el riego está vinculada a la ejecución de las obras de almacenamiento y construcción, al manejo de la infraestructura requerida, la colocación de elementos electromecánicos, junto con la operación y consumo de energía implicada por los mismos. En el balance realizado, no se considera dicha energía debido a que la misma es de difícil cuantificación y posee baja incidencia energética teniendo en cuenta que se amortiza en todos los cultivos que suceden a lo largo de su vida útil.

Los resultados sugieren que la energía incorporada de las diferentes tecnologías de infraestructura de riego ha disminuido considerablemente con los años debido al uso de bajas cantidades de materiales y al aumento de la eficiencia energética de la producción de materiales. (Guzmán C. y González de M., 2017).

En consecuencia, la energía considerada es la asociada con la operación del sistema, a partir de las horas hombres de trabajo y la energía requerida para la aplicación del agua por medio de bombas eléctricas o diésel.

En la Tabla 3, realizada por Batty y Heller (1980), se muestra una estimación de las necesidades energéticas para varios tipos de sistemas de riego teniendo en cuenta la eficiencia en el suministro de agua de cada uno.

Sistema de irrigación	Horas hombre de trabajo (h/Ha*año)	Aplicación de agua (m <sup>3</sup> /Ha*año)	Necesidades energéticas brutas (GJ/Ha*año)
Rociadores manuales	39.51	12.200	38.3
Rociadores de rodillo lateral	19.75	12.200	38.7
Superficie con IRRS*	4.11	18.300	3.7
Rociadores con desplazamiento	3.29	13.071	72.9
Rociadores fijos	3.29	11.438	41.2
Superficie sin IRRS	2.06	10.765	4.3
Rociadores permanentes	0.82	11.438	36.9
Rociadores de pivote central	0.82	11.438	40.9
Goteo	0.82	10.167	24.9

Tabla 3. Requerimientos en diferentes sistemas de irrigación. (Batty y Heller, 1980). \*IRRS: Sistema de recuperación de la escorrentía de riego

En el presente informe, como primer análisis, se considera el cultivo a secano, teniendo en cuenta que es la explotación más usual del territorio provincial en virtud a las condiciones climatológicas.

#### 9. Transporte de insumos

Para determinar la energía implicada en el transporte de insumos (semillas, fertilizantes, herbicidas, entre otros) se tuvo en cuenta la energía calculada en el Inciso 3.2.5 (Incidencia del transporte). En consecuencia, para el transporte de los insumos una distancia de 100 km, se consideran 21,83 Kcal/Kg de maíz.

### 3.2.2 Incidencia del consumo energético en la etapa de producción del etanol

Los costos energéticos en la producción de etanol incluyen las operaciones de molienda, prelicuefacción, postlicuefacción, fermentación, destilación y centrifugación. Además, incluyen los insumos (agua, levaduras...) llevados a una base unitaria. La potencia térmica y eléctrica son los principales tipos de energía utilizados en las plantas de generación de etanol. El consumo energético específico (para el procesamiento de un kilo de maíz) depende de la tecnología de la planta, por ello se analizó por separado el caso de mini destilerías, destilerías de molienda seca y molienda húmeda.

#### Mini destilerías

El modelo desarrollado se basa en una mini destilería con una producción diaria estimada en 15.000 litros de alcohol etílico hidratado 95% a partir de 40500 Kg de maíz.



Las proporciones de los insumos empleados en el proceso productivo y la energía requerida en cada etapa se consideraron según los estándares publicados por plantas de producción de bioetanol Minidest de la empresa Porta S.A.

Los valores implicados en la pérdida (outputs) de energía en el proceso de producción de etanol para mini destilerías se detallan a continuación en la Tabla 4.

					Cantidad consumida por Kg de Maíz	Energía por Kg de Producto (Kcal)	
PRODUCCIÓN DE ETANOL	Molienda	Energía	(KWh/tn)	82,96	(kWh)	0,0830	71,38
	Prelicuefacción	Agua	(Kg/día)	88800	(kg)	2,1926	13,16
		Alfa amilasa	(Kg/día)	11,52	(kg)	0,0003	24,37
	Postlicuefacción	Glucoamilasa	(Kg/día)	17,94	(kg)	0,0004	14,42
		Alfa amilasa	(Kg/día)	23,58	(kg)	0,0006	49,88
	Fermentación	Levaduras	(Kg/día)	35,2	(kg)	0,0009	74,47
Destilación (Rendimiento térmico de la caldera 87%)	Energía térmica	(Kg/día)	22500	(kg)	0,5556	395,89	

Tabla 4. Pérdidas de energía en el proceso de producción de etanol en mini destilerías. (Fuente: Elaboración propia.)

La ganancia energética implicada en el proceso de producción del etanol en mini destilerías se detalla en la Tabla 5.

					Producido por Kg de Maíz	Energía por Kg de Producto (Kcal)	
PRODUCCIÓN DE ETANOL	Limpieza	Granos partidos	(kg/día)	405	(kg)	0,01	14,70
	Fermentación	CO <sub>2</sub>	(kg/día)	11191,94	(kg)	0,276	
		Calor	(Kcal/día)	3097039,9			
	Destilación	Alcohol etílico	(l/día)	15000	(l)	0,37	2136,51
	Centrifugación	Burlanda húmeda	(kg/día)	26324	(kg)	0,650	105,71
Vinaza liviana		(kg/día)	103000	(kg)	2,543	413,62	

Tabla 5. Ganancia de energía en el proceso de producción de etanol en mini destilerías. (Fuente: Elaboración propia.)

### Destilerías

Las instalaciones de producción de etanol pueden incluir la molienda húmeda o la molienda en seco. La energía térmica y eléctrica son los principales tipos de energía utilizada en ambos tipos de plantas de molienda. Actualmente, la mayoría de las plantas de molienda húmeda consumen tanto electricidad como energía térmica procedente de la combustión de gas natural y carbón. Las plantas de molienda seca generan sólo vapor, lo que requiere que comprar electricidad a una empresa de servicios públicos. La electricidad se utiliza sobre todo para el rectificado y el funcionamiento eléctrico motores. La energía térmica se utiliza para la fermentación, recuperación de etanol y deshidratación. Los gases de combustión se utilizan para secado y tratamiento de la vinaza.

Las plantas de generación de etanol por molienda seca consumen en promedio unos 48.772 BTU de energía primaria por galón de etanol producido, mientras que las de molienda húmeda utilizan 54.239 BTU de energía primaria para producir un galón de etanol. Los valores utilizados no consideran la energía de los coproductos. (Shapouri, H., 2002)

Haciendo el pasaje de unidades correspondiente, para el proceso de molienda seca:

$$48.772 \frac{BTU}{galon\ etanol} = 12298,56 \frac{Kcal}{galon\ etanol} = 3249,29 \frac{Kcal}{litro\ etanol}$$

Para el proceso de molienda húmeda:

$$54.239 \frac{BTU}{galon\ etanol} = 13677,14 \frac{Kcal}{galon\ etanol} = 3613,51 \frac{Kcal}{litro\ etanol}$$

Considerando que se generan 0.37 litros/ kg de maíz:

$$\text{Energía molienda seca} = 3249,29 \frac{Kcal}{litro\ etanol} \times 0.37 \frac{litro\ etanol}{kg\ de\ maíz} = 1202,23 \frac{Kcal}{kg\ de\ maíz}$$

$$\begin{aligned} \text{Energía molienda húmeda} &= 3613,51 \frac{Kcal}{litro\ etanol} \times 0.37 \frac{litro\ etanol}{kg\ de\ maíz} \\ &= 1336,99 \frac{Kcal}{kg\ de\ maíz} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la energía requerida en las destilerías en el proceso de molienda seca, sin considerar la energía de los coproductos, es de 1202.23 kcal/kg de maíz, mientras que en el proceso de molienda húmeda la energía es de 1336.99 kcal/kg de maíz.

Un área frecuentemente pasada por alto en el balance energético del etanol es la de los coproductos, los que resultan de todos los tipos de plantas. Las plantas de etanol de molienda seca producen coproductos, como los granos de destilación, carbono y gluten de maíz para la alimentación del ganado y dióxido de carbono utilizado en los alimentos y bebidas.

Considerando los coproductos, la energía utilizada para el proceso de molienda húmeda es de 33.503 Btu/galón de etanol y para el proceso de molienda seca 27.799 Btu/galón de etanol. (Brief, I. 2009)

Haciendo el pasaje de unidades correspondiente, para el proceso de molienda seca:

$$27.799 \frac{BTU}{galon\ etanol} = 7009,92 \frac{Kcal}{galon\ etanol} = 3249,29 \frac{Kcal}{litro\ etanol}$$

Para el proceso de molienda húmeda:

$$33.503 \frac{BTU}{galon\ etanol} = 8448,26 \frac{Kcal}{galon\ etanol} = 3613,51 \frac{Kcal}{litro\ etanol}$$

Considerando que se generan 0.37 litros/ kg de maíz:

$$\text{Energía molienda seca} = 3249,29 \frac{\text{Kcal}}{\text{litro etanol}} \times 0,37 \frac{\text{litro etanol}}{\text{kg de maíz}} = 858,46 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg de maíz}}$$

$$\begin{aligned} \text{Energía molienda húmeda} &= 3613,51 \frac{\text{Kcal}}{\text{litro etanol}} \times 0,37 \frac{\text{litro etanol}}{\text{kg de maíz}} \\ &= 954,69 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg de maíz}} \end{aligned}$$

Por lo tanto, considerando los coproductos, la energía requerida en las destilerías en el proceso de molienda seca es de 858.46 kcal/kg de maíz, mientras que en el proceso de molienda húmeda la energía es de 954.69 kcal/kg de maíz.

A continuación, en la Tabla 6 se resume la energía implicada en las destilerías y minidestilerías, considerando o no los subproductos, en el proceso de generación de etanol a partir de maíz.

		Energía [Kcal/Kg de maíz]	Energía total [Kcal/Kg de maíz]
<b>Molienda seca</b>			
Destilerías s/coproductos	Etanol	2134.3746	2134.3746
	Coprod.	0	
Destilerías c/coproductos	Etanol	2134.3746	1790.6046
	Coprod.	343.77	
<b>Molienda Húmeda</b>			
Destilerías s/coproductos	Etanol	2134.3746	2134.3746
	Coprod.	0	
Destilerías c/coproductos	Etanol	2134.3746	1752.0746
	Coprod.	382.3	
<b>Mini destilerías</b>			
Destilerías s/coproductos	Etanol	2134.37	2134.37
	Coprod.	0	
Destilerías c/coproductos	Etanol	2134.37	1102.64
	Coprod.	1031.73	

Tabla 6. Energía implicada en el proceso de generación de etanol para destilerías y mini destilerías. (Fuente: Elaboración propia.)

En base a los resultados obtenidos, la implementación de una u otra tecnología dependerá de la disponibilidad de tecnología, de mano de obra, de superficie productiva y de las preferencias del usuario entre otros factores.

### 3.2.3 Parámetros considerados en el balance energético

La Tabla 7 y la Tabla 8 sintetizan los parámetros recabados a partir de los antecedentes documentados y que son empleados en la generación del modelo.

Consumo diario de maíz en la planta	(kg/día)	40500
Densidad del etanol	(kg/l)	0,79
Producción de etanol a partir del maíz	(l/kg)	0,37
Poder calórico inferior	(Kcal/kg)	7302
	(Kcal/l)	5768,58
Poder calórico del etanol producido por un kilo de maíz	(Kcal/kg)	<b>2134,37</b>

Tabla 7. Parámetros del maíz y etanol utilizados en el balance energético realizado. Fuente: Elaboración propia.

<b>COSTOS ENERGÉTICOS UNITARIOS</b>		
Producción de Nitrógeno (Fluck, 1992)	(Kcal/kg)	14700
Maquinaria (Camiones y Tractores) (Fluck, 1992)	(Kcal/kg)	18000
Gasolina (Fluck, 1992)	(Kcal/l)	16500
Diésel (Fluck, 1992)	(Kcal/l)	11450
Electricidad (Fluck, 1992)	(Kcal/KWh)	3100
Fósforo, como tiofosfato simple (Fluck, 1992)	(Kcal/kg)	3000
Potasio, como ceniza de potasio (Fluck, 1992)	(Kcal/kg)	1860
Calcio, considerando Cal (incluyendo extracción y procesamiento) (Fluck, 1992)	(Kcal/kg)	295
Insecticidas (Fluck, 1992)	(Kcal/kg)	85680
Herbicidas (Fluck, 1992)	(Kcal/kg)	111070
Semillas (C. Gracia, 2011)	(Kcal/kg)	2295,14
Maquinaria Pesada (C. Gracia, 2011)	(Kcal/kg)	9000
Riego (C. Gracia, 2011)	(Kcal/mm)	4000
Nitrógeno (C. Gracia, 2011)	(Kcal/kg)	12689
Transporte de materiales (una distancia de 100Km)	(Kcal/kg)	22
Agua para el proceso	(Kcal/l)	6
Vapor (energía necesaria para generar vapor a partir de agua a 20°C)	(Kcal/kg)	618,7
Destilación	(Kcal/l)	1430,793
Energía neta de ganancia de peso (Megacalorías por kilo de materia seca) (Calculo realizado en el apartado 3.2.4)	(Kcal/kg)	2840

Tabla 8. Costos energéticos unitarios utilizados en el balance energético realizado. (Fuente: Elaboración propia.)

### 3.2.4 Determinación de la recuperación energética en los coproductos

Como principales coproductos provenientes del proceso de elaboración del etanol se encuentran las burlandas seca y húmeda (WDG-DDG) cuyas principales características ya fueron definidas en el Apartado 2.6.3.

La burlanda posee características muy particulares con una alta variabilidad en la composición de nutrientes, dentro y entre partidas. Por esta razón, es necesario un conocimiento acabado de la misma para determinar su valor nutricional en orden al logro de dietas balanceadas. Los análisis químicos y las evaluaciones sensoriales representan determinaciones clave para tal propósito. A continuación, en la Tabla 9 y Tabla 10 se detallan las principales evaluaciones para la burlanda seca o húmeda destinada a la alimentación del ganado.

<b>Análisis Sugeridos</b>	<b>Valores Máximos</b>	<b>Valores Mínimos</b>
Humedad %	65.0	-
P B %	-	28.0
FDN %	42.0	-
EE %	12.0	-
Almidón %	5.0	-
Cenizas %	5.0	-
Azufre (S) %	0.55	-
NIDA%	<0.11	-

Tabla 9. Burlanda húmeda: Análisis de Laboratorio <sup>(1)</sup> y Composición Química Sugeridos <sup>(2)</sup>.  
(Gallardo, M., S.f)

<sup>(1)</sup> Determinaciones de mínima: PB: proteína Bruta; FDN: Fibra Detergente Neutro; EE: Extracto Etéreo (Lípidos: grasas y aceites). NIDA: Nitrógeno Insoluble en Detergente Ácido/% de la MS total, determina indirectamente la biodisponibilidad de proteínas y eventuales deterioros por “calentamiento” excesivo (Reacción Maillard”).

<sup>(2)</sup> Máximos y Mínimos aceptables para no desmejorar el valor nutricional, en base a datos de laboratorios sólo de Argentina.

<b>Análisis Sugeridos</b>	<b>Valores Máximos</b>	<b>Valores Mínimos</b>
Humedad %	7.0	-
P B %	-	28.0
FDN %	35.0	-
EE %	12.0	-
Almidón %	5.0	-
Cenizas %	5.0	-
Azufre (S) %	0.55	-
NIDA%	<0.12	-

Tabla 10. Burlanda seca: Análisis de Laboratorio <sup>(1)</sup> y Composición Química Sugeridos <sup>(2)</sup>.  
(Gallardo, M., S.f)

<sup>(1)</sup> Determinaciones de mínima: PB: proteína Bruta; FDN: Fibra Detergente Neutro; EE: Extracto Etéreo (Lípidos: grasas y aceites). NIDA: Nitrógeno Insoluble en Detergente Ácido/% de la MS total, determina indirectamente la biodisponibilidad de proteínas y eventuales deterioros por “calentamiento” excesivo (Reacción Maillard”).

<sup>(2)</sup> Máximos y Mínimos aceptables para no desmejorar el valor nutricional, en base a datos de laboratorios sólo de Argentina

En relación a la incorporación de la burlanda en la dieta alimentaria del ganado vacuno se efectúan las siguientes distinciones:

- Para vacas lecheras, la cantidad de lípidos que contienen puede ser un factor limitante. Los nutricionistas sugieren formular con una cantidad máxima hasta el equivalente a 2% de lípidos provenientes de este recurso, si no se suministran otras fuentes de grasa. Hasta el límite máximo, la cantidad a incorporar dependerá de la disponibilidad. Si los lípidos son bajos, podrían incorporarse hasta en 25% de la MS total.
- Para ganado bovino de carne, los niveles de inclusión pueden llegar hasta un 30-40% de la MS total de dieta. En tal sentido, se pueden obtener muy buenos resultados de reemplazo de grano de maíz, observando ciertas precauciones para un adecuado balance. La burlanda húmeda no es recomendable para terneros de menos de 4-5 meses de edad ya que su aparato digestivo no está totalmente desarrollado para metabolizar estos productos en grandes cantidades. (Gallardo, M., S.f)

Adicionalmente el feedlot generará desechos orgánicos que podrán ser utilizados para generar energía mediante un biodigestor y el reúso del biogás o generar material de compostaje. De manera conservadora, estas ganancias no son consideradas en el balance elaborado.

En cuanto a la capacidad energética de la burlanda húmeda, valor que es necesario definir para ser considerado de forma adecuada en el balance, existen diversos criterios que ameritan un análisis detallado del mismo. En el punto siguiente se desarrollan los principales conceptos referidos a energía alimentaria que deben considerarse al definir este valor.

Cabe destacar que la biomasa generada por el cultivo de maíz incluye el grano y rastrojo, y ambos pueden ser utilizados para generar etanol. Sin embargo, al considerar que se implementa la técnica de siembra directa, el rastrojo no se tendrá en cuenta en el balance energético.

#### *Energía de los coproductos: WDSG*

A partir del balance de energía es posible determinar el valor presente en los coproductos del proceso bajo estudio.

En un balance total de energía se toman en cuenta las transferencias de energía a través de los límites del sistema. El proceso de transformación del maíz en etanol insume una cierta cantidad de energía que se presenta en el Apartado 3.2.2.

Considerando como límite del sistema estudiado el punto posterior a la cosecha del maíz, puede tomarse su poder calórico como la energía inicial o basal que servirá de comparación con la obtenida a partir de los distintos outputs del proceso. Este valor para el caso del grano de maíz se estima en 3.9 Mcal/kg. Estudios avalados por el INTA muestran que el contenido de Energía Bruta (Sibbald, 1976) en maíces de germoplasma “Duro” o “Flint” y en aquellos de tipo “Dentado” o “Amarillo” tienden a disminuir a lo largo del tiempo. En tanto los valores del maíz “Dentado” se han mantenido más estables a lo largo del tiempo, los del maíz “Duro” muestran una declinación en estos parámetros. Este resultado sería consecuencia de la incorporación de

“sangre tipo Dentado” a los maíces “Duros” como alternativa para incrementar los rendimientos agronómicos (kilogramos por hectárea). Estos valores se presentan en la Tabla 11.

Año Tipo de Maíz	Energía Bruta (Kcal/kg)		
	1991 (Bonino et al., 1991)	1998 (Schang et al., 1999)	2007 (INTA, 2015)
Dentado	3949	3963	3940
Duro	4080	4016	3954

Tabla 11. Energía bruta del maíz dentado y duro a través del tiempo.

En relación a la zona de producción los estudios existentes no mostraron diferencias significativas en el contenido de EB de los maíces.

En consecuencia, se adopta 3.9 Mcal/kg como valor de la energía bruta presente en el maíz de proceso. La energía que se adiciona al mismo para realizar la transformación en parte se acumula en forma de energía química y otra se pierde al disiparse en forma de calor o es liberada en la emisión de CO<sub>2</sub>.

La energía adicional que recibe el producto, y parte de la cual podrá ser incorporada al mismo se determinó en el balance energético que se presenta en el Apartado 3.2) y posee los siguientes valores en el caso de las mini destilerías:

Molienda	71,38 Kcal/kg
Alfa amilasa	74,26 Kcal/kg
Glucoamilasa	14,42 Kcal/kg
Levaduras	74,47 Kcal/kg
Energía Térmica	395,89 Kcal/kg
<b>TOTAL</b>	<b>643,57 Kcal/kg = 0.6 Mcal/kg</b>

Frente a la energía interna del maíz, considerando que parte de la misma se disipa, puede asumirse que la energía interna permanece constante.

El contenido de energía de los coproductos depende del tipo de molienda. En los subproductos de la molienda húmeda el contenido de energía es similar o inferior al de los granos (NRC, 1996), mientras que los destilados con o sin solubles de la molienda seca tienen un contenido de energía generalmente superior al de los granos. Se ha demostrado que estos productos pueden o bien reemplazar granos en raciones de terminación o actuar como fuente primaria de energía.

La forma de cuantificar la energía presente en los coproductos para hacerla comparable con la invertida en la producción de etanol debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. La regularidad en la composición química del producto.
2. La capacidad de preservar las propiedades de la misma para su conservación, transporte y utilización.
3. Distinguir la disponibilidad energética de los coproductos de la energía que puede ser efectivamente utilizada, en este caso por el animal.
4. Definir el límite del volumen de control que separa los procesos considerados en el balance energético distinguiendo productos de desechos.

Respecto al punto 1, la burlanda puede presentar distintas composiciones en función de las características del maíz empleado como materia prima (contenido de proteínas, aminoácidos...), el tipo de molienda y las características del proceso. El rango de composición de los nutrientes de las burlandas oscila entre los siguientes valores:

Burlanda de Maíz húmeda o WDGS:

- Proteína: 32 a 36%
- Grasa: 9 a 12%
- Fibra detergente neutro (FDN): 30 a 50%
- Energía aprox.: 3.2 Mcal EM/kg MS

Burlanda de Maíz Seca o DDGS:

- Proteína: 30 a 32%
- Grasa: 9 a 12%
- Fibra detergente neutro (FDN): 30 a 50%
- Energía aprox.: 2.6 a 2.9 Mcal EM/kg MS. (CEAS S.A., 2017)

El punto 2 se ve cubierto en el caso de la instalación de cercanas a un feedlot, lo que evita los requerimientos de transporte y reduce el tiempo para su utilización evitando los procesos de descomposición.

El punto 3 requiere profundizar sobre los distintos conceptos de energía vinculados a los cambios (transferencia y utilización de la misma) que acompañan las reacciones químicas en los organismos vivos. En los puntos siguientes se enuncian estas diferencias en materia de energía alimentaria.

En relación al punto 4 se considerará que el análisis cubre las instancias que van desde la cosecha del maíz hasta la alimentación de los rumiantes por lo que el grano del maíz será considerado el elemento de ingreso al sistema, el etanol y la burlanda (incluyendo la vinaza) los productos, y las excretas de los rumiantes y el CO<sub>2</sub> los desechos del sistema.

A continuación, se realizará la distinción entre los conceptos de energía alimentaria con el fin de determinar el valor a ser empleado en el balance para la burlanda.



### Energía Bruta

La energía bruta o calor de combustión de un alimento es la cantidad de calor que se libera cuando se quema en un calorímetro, y representa la máxima cantidad posible de energía que se puede obtener de un alimento. Es común representar este valor en kilojulios, pero a los fines prácticos se lo transforma en kilocalorías para hacerlo comparable con los restantes conceptos de energía. La energía bruta no tiene significado nutritivo, pero es un parámetro necesario para calcular el valor energético (energía aprovechable) de los alimentos.

Es el punto de partida para conocer la energía de un alimento o de una ración, que es utilizada en los procesos corporales. (CEAS S.A., 2017)

En la Figura 19 se esquematiza la relación entre los distintos tipos de energía alimentaria.

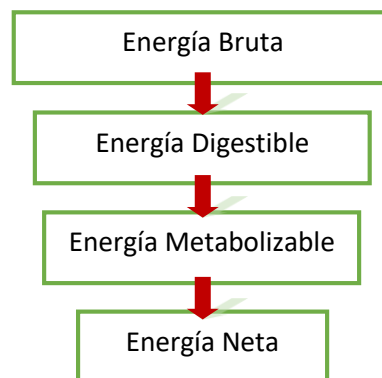


Figura 19. Tipos de Energía Alimentaria. (Fuente: Elaboración propia).

Existen dos formas para la determinación de la Energía Bruta:

- Determinación del calor liberado por combustión total de una muestra en un calorímetro (bomba calorimétrica).
- Estimación a partir de la composición química (análisis de Weende o Van Soest) y los valores de combustión de los carbohidratos, proteínas y lípidos.

En los alimentos la energía depende principalmente de los macronutrientes que los componen (proporción de carbohidratos, proteínas y lípidos). Los macronutrientes aportan las calorías (energía) necesarias para el crecimiento, el metabolismo y otras funciones. Los valores de energía de cada macronutriente se sintetizan a continuación:

#### Carbohidratos:

Almidón/celulosa 4,1 Mcal/kg

Glucosa 3,8 Mcal/kg

Proteínas: 5,6 Mcal/kg

Lípidos: 9,4 Mcal/kg (CEAS S.A., 2017)

En consecuencia, la estimación de la EB a partir de la composición química puede expresarse a partir de las siguientes ecuaciones:

$$EB \left( \frac{\text{Mcal}}{\text{kg}} \right) = 5.6 \text{ PC} + 9.4 \text{ EE} + 4.2 \text{ FDN} + 4.2 \text{ CHOs}$$

Donde:

*EB = Energía Bruta*

*PC = Porcentaje de proteínas en el alimento*

*EE = Porcentaje de grasas en el alimento*

*FDN = Porcentaje de fibra detergente neutro en el alimento*

*CHOs = Porcentaje de carbonatos no estructurales*

Como se observa en la ecuación, los alimentos grasos o proteicos son más energéticos que los alimentos ricos en carbohidratos; por otra parte, los alimentos con un alto contenido en humedad o en cenizas son menos energéticos.

En función de los rangos de composición nutricional que presenta la burlanda se obtiene el siguiente valor de EB:

$$EB \left( \frac{\text{Mcal}}{\text{Kg}} \right) = 5.6 \times 0.32 + 9.4 \times 0.09 + 4.2 \times 0.30 = 3.9 \left( \frac{\text{Mcal}}{\text{Kg}} \right)$$

Igual al valor dado para el propio maíz en el punto anterior.

### *Energía Digestible*

La energía digestible es la parte de la energía alimentaria consumida que no aparece en las heces.

$$ED = EB - (E_h - E_e)$$

Siendo:

*ED = Energía digestible*

*EB = Energía bruta*

*E<sub>h</sub> = Energía de las heces*

*E<sub>e</sub> = Energía endógena*

En el proceso de utilización de la energía ingerida la pérdida en las heces es la primera y, cuantitativamente, la más importante y más variable. El valor de la ED puede variar entre un 30% a un 90 % de la EB. Puede indicarse como principal determinante el contenido y características de los Carbohidratos estructurales presentes en el alimento.

Los animales utilizan la energía química liberada por ruptura de los enlaces de los productos orgánicos para realizar los "trabajos" celulares. En consecuencia, la energía digestible dependerá de la composición del alimento como del propio animal y sus condiciones. Se determinaron

Coefficientes de Digestibilidad de la Energía para distintos animales según la composición de la dieta (Noblet y Pérez, 1993).

Se efectúan diversas pruebas de digestibilidad o valoraciones a partir del calor de combustión:

- Calorimetría (bomba calorimétrica): restando a la EB consumida la EB de las heces se obtiene la energía digestible aparente.
- Estimaciones a partir de composición Química de ingerido y excretado
- Determinación de Nutrientes Digestibles Totales (NDT)

A partir de la valoración de los Nutrientes Digestibles Totales (NDT) transcritos en la Tabla 12 y el contenido de macronutrientes en la burlanda, es posible estimar el valor de ED.

NUTRIENTES DIGESTIBLES TOTALES					
Grupo de Nutrientes	EB (Kcal/g)	Pérdida fecal (% de EB)	ED (Kcal/g)	Pérdida en Orina (% de ED)	VFC (Kcal/g)
CHO	4,15	2	4	0	4
Lípidos	6,45	5	9	0	9
Proteínas	5,62	8	5,2	23	4

Tabla 12. Nutrientes digestibles totales. (Bauza, R., 2012)

Considerando una pérdida fecal del 8% del valor de ED y un 32% en la composición de las proteínas se obtiene un valor de ED de 3.7 Mcal/kg de materia seca en la burlanda.

### Energía Metabolizable

La energía metabolizable (EM) corresponde a la cantidad de energía proveniente del alimento que dispone el animal para sus procesos metabólicos. La EM es el punto de encuentro entre la oferta y demanda de energía.

De la energía ingerida en los alimentos un porcentaje se pierde en los siguientes procesos:

- proceso de digestión y absorción
- retenida en tejidos del animal (o productos) en forma de energía química
- proceso de síntesis, en forma de calor (ineficiencia)

Sustrayendo a la ED la energía perdida en los productos gaseosos de la digestión y la energía perdida en la orina, se obtiene la Energía Metabolizable (EM). (Bauza, R., 2012).

$$EM = ED - E_g - E_o$$

$$EM = E_c - E_h - E_g - E_o$$

Donde:

*EM = Energía metabolizable*

*ED = Energía digestible*

*Eg = Energía en gases*

*Eo = Energía en orina*

*Eh = Energía en heces*

*Ec = energía bruta*

Las pérdidas de energía en gases se originan en los procesos de fermentación en el TGI. La pérdida de energía por gases más importante corresponde al metano.

$$EB \text{ del metano} = 13.34 \frac{Mcal}{kg} \text{ (Bauza, R., 2012)}$$

Las pérdidas como gases en Rumiantes van del 7 al 10 % de EB consumida. Las pérdidas de energía en la orina (Compuestos nitrogenados) en Rumiantes van del 4 al 5 % de EB consumida.

$$EB \text{ úrea} = 5.50 \frac{Mcal}{kg} \text{ (Bauza, R., 2012)}$$

$$EB \text{ Ácido úrico} = 6.70 \frac{Mcal}{kg} \text{ (Bauza, R., 2012)}$$

El contenido de energía digestible, metabolizable y neta de los alimentos no se puede determinar por técnicas analíticas de laboratorio. Uno de los métodos más utilizados para estimar el contenido de energía utilizable de los alimentos, a diferentes niveles, es el uso de ecuaciones de predicción basadas en la composición química o en evaluaciones biológicas.

El contenido de EM puede ser calculado a partir de fórmulas que utilizan evidencia experimental, los contenidos de EB promedios de los diferentes nutrientes aportadores de energía dietaria, además de las respectivas estimaciones de los coeficientes de digestibilidad promedio de los nutrientes aportadores de energía. Esta metodología es conocida como "Factores Atwater Modificados" cuya fórmula para estimar la EM es la siguiente:

$$EM = (PC \times 3.5) + (EE \times 8.5) + (CHO \times 3.5)$$

Donde:

*EM = Energía metabolizable*

*EE = Extracto etéreo*

*CHO = Carbohidratos no estructurales*

*PC = Proteínas*

Las diferentes metodologías para determinar o estimar el contenido de EM dietaria siguen siendo controversiales. Es así que se ha comprobado que la utilización de los factores Atwater modificados para calcular la EM de los alimentos, sobre valora el contenido de EM de algunos alimentos, a la vez que tiende a subestimar el contenido de EM en dietas de alta calidad (Shields et al, 1994). Por el contrario, el cálculo a partir del contenido de ED, y empleando un factor de

corrección para tener en cuenta las pérdidas energéticas urinarias, se aproxima bastante a las cifras de EM obtenidas mediante determinaciones directas. (Escobar Collao, H., 2006)

Los valores de pérdidas fueron estudiados por diversos autores, lo que nos permite disponer de un rango de referencia válido para nuestra determinación. Este rango se transcribe en la Tabla 13.

Pérdida		% de la EB		
		min	máx.	medio
Heces (Eh)		20	50	35
Gases (Eg)		7	10	8,5
Orina (Eo)		4	5	4,5
Calor	Fermentación	5	6	5,5
	Digestión	1	2	1,5
	Metabolismo	18	20	19

Tabla 13. Pérdidas de energía. (CEAS S.A., 2017)

En relación a la burlanda, la información internacional es abundante y consistente en definir en general a los granos de destilería húmedos o secos como subproductos que presentan altos contenidos de proteína cruda (29-35%) y altos valores de energía metabolizable para rumiantes (2,9 Mcal/kg), así como es coincidente en caracterizar a estos subproductos con alta variabilidad en su composición química, fundamentalmente asociada al proceso industrial propio de cada planta productora de etanol y a las variaciones en la materia prima.

Adoptando una pérdida del 25% del valor de EB para la determinación de la EM se corresponde con un valor de 2.84 Mcal/kg de materia seca en la burlanda.

La proteína de los DGS es de menor calidad dado que posee bajo niveles de algunos aminoácidos como lisina, triptófano y treonina, pero para el caso de los bovinos o rumiantes este subproducto posee un alto porcentaje de proteína pasante o proteína no degradable en el rumen siendo ésta más eficiente en su utilización.

Estudios realizados por el INTA muestran diferencias en el contenido de Energía Bruta (EB) y de Energía Metabolizable Verdadera (EMV) (Sibbald, 1976) de maíces de germoplasma “Duro” o “Flint” (n: 15) y el de aquellos de tipo “Dentado” o “Amarillo” (n: 10) los que tienden a disminuir a lo largo del tiempo.

#### Energía Neta

La energía neta constituye el aporte energético del alimento que efectivamente es utilizado por el animal. Parte de la EM que es retenida como producto (carne, leche, huevos, etc.) o utilizada en las funciones de mantenimiento del organismo.

En consecuencia, la misma puede expresarse por medio de la siguiente expresión:

$$EN = EM - IC$$

Donde:

$EN = \text{Energía neta}$

$EM = \text{Energía metabolizable}$

$IC = \text{Incremento en la producción de calor}$

El Incremento en la producción de calor resultado de la ingestión de alimentos incluye el calor proveniente de fermentaciones microbianas, trabajo del movimiento del TGI y acción de enzimas digestivas, metabolismo de nutrientes (mantenimiento y síntesis) y excreción de productos de desecho.

El valor de EN de un alimento para un mismo género y especie animal es variable en función del proceso fisiológico (mantenimiento, lactación, crecimiento, engorde, etc.) en el cual es utilizada la EM. La energía neta de mantenimiento corresponde a la fracción de la EN consumida destinada a mantener el equilibrio energético del animal. (CEAS S.A., 2017)

Comprende la energía destinada a metabolismo basal, termorregulación y actividad voluntaria del animal.

La energía neta de mantenimiento depende de los siguientes ítems:

$$ENm = MA + A + CA$$

Donde:

$ENm = \text{Energía neta de mantenimiento}$

$MA = \text{Metabolismo de ayuno}$ . Es el requerimiento mínimo de energía para mantener al animal con vida. Varía con la especie y categoría animal, se expresa por unidad de tamaño metabólico.

$A = \text{Actividad}$ . Equivalente aproximadamente a un 5 a 30 % del metabolismo de ayuno.

$CA = \text{Condiciones ambientales}$ . Incluye ajustes por temperaturas, viento, lluvia, etc.

En la Figura 20, se representa la relación entre la energía de mantenimiento y la energía neta.

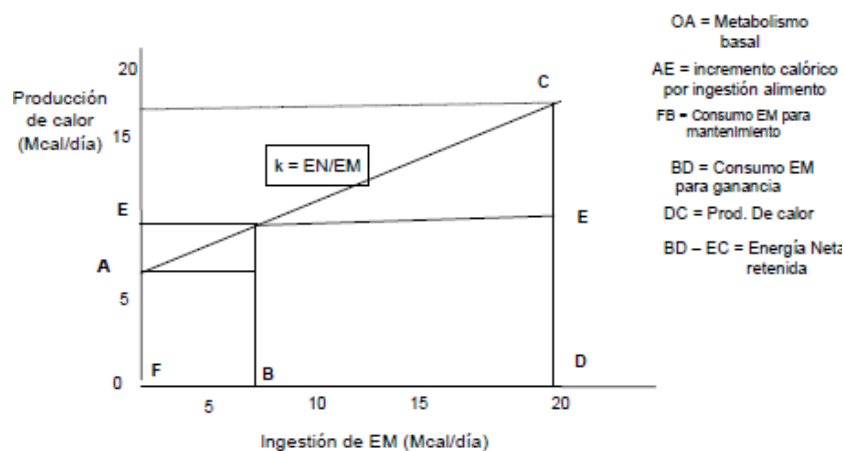


Figura 20. Relación entre la energía de mantenimiento y la energía neta. (Bauza, R., 2012)

Se definen distintas eficiencias de utilización de la energía metabolizable como la relación entre la energía metabolizable y la energía neta para un mismo género y especie animal y cada proceso fisiológico (mantenimiento, lactación, crecimiento, engorde, etc.) en el cual es utilizada la EM.

Puede considerarse un valor intermedio de  $k=0.65$  para la determinación de la energía neta para rumiantes (Martínez M, 2015), lo que representa un valor de  $EN = 1.84$  Mcal/kg a partir de la burlanda.

No obstante, en la determinación de la energía a ser empleada en el balance energético se utilizará el valor de energía metabolizable (EM) considerándose la energía incluida en las excretas y el  $CO_2$  como pérdidas del sistema, tal como se muestra en la Figura 21. La energía calórica constituye un factor que se encontrará presente de forma independiente del alimento por lo que la misma no se descuenta del valor de energía metabolizable y es considerada como un costo energético fijo.

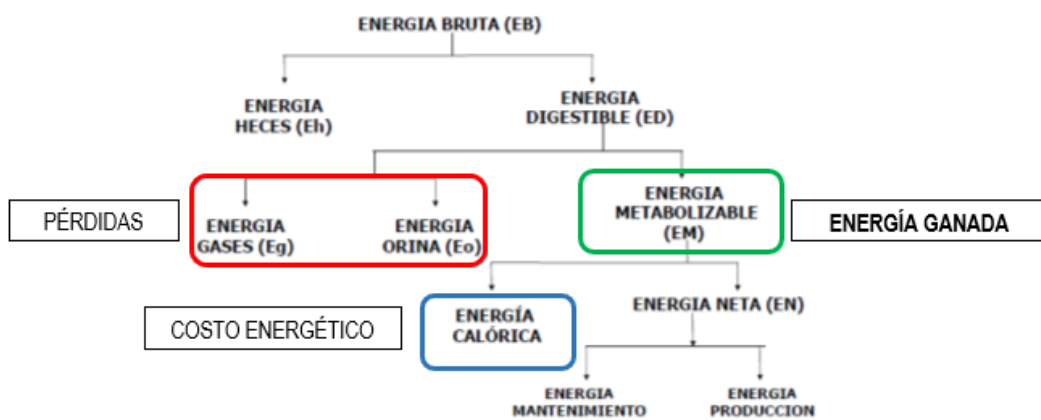


Figura 21. Esquema convencional de partición de la energía alimentaria. (Bauza, R., 2012)

Finalmente, la Figura 22 resume los valores de energía considerados para la burlanda.

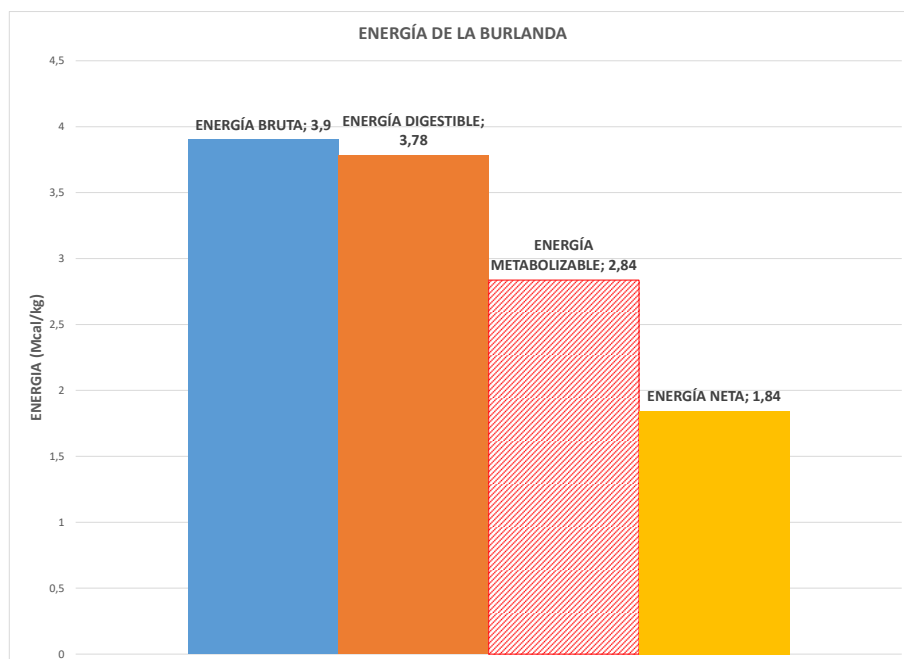


Figura 22. Valores asignados a la energía de la burlanda (DDGS) para cada estadio. (Fuente: Elaboración propia.)

Debido a lo previamente expresado se utilizará el valor de energía metabolizable (EM=2840 kcal/kg) para la burlanda en Megacalorías por kilo de materia seca.

### 3.2.5 Incidencia del transporte

Los establecimientos que incorporen la tecnología propuesta para la generación de bioetanol deberán considerar el costo energético del flete. Dentro de las actividades analizadas, el transporte más significativo es el del maíz desde su sitio de producción hasta el procesamiento, transporte de burlanda hasta el sitio de consumo de ganado y el transporte de bioetanol hasta el lugar de consumo o comercialización. El transporte de la burlanda no será considerado en el balance energético debido a que generalmente los feedlots se ubican en el entorno próximo al sitio de producción. En consecuencia, se analizará el costo energético del transporte del maíz y del bioetanol.

Los costos de transporte son muy significativos, a tal punto que la producción de maíz se concentra en aquellas provincias que están cerca de los puertos. Actualmente se busca una desvinculación geográfica al punto de colocación, que incentivará el desarrollo de nuevos polos productivos en zonas lejanas a los puertos (destacándose regiones del NOA, Oeste Bs. As, La Pampa y Córdoba). (FIEL, 2002)

El medio de transporte dominante en la Argentina es el camión. El desarrollo y estado de las carreteras y el funcionamiento adecuado del mercado de carga por camión son elementos clave de los costos logísticos en la Argentina. En el mapa de la Figura 23 se indican los corredores que concentran la mayoría de la actividad de distribución de carga por carretera y ferrocarril del país. También incluyen el tránsito fluvial (la actividad de la Hidrovía Paraná-Paraguay) y el movimiento de los puertos más importantes del país.





Figura 23. Principales corredores a nivel nacional (FIEL, 2002)

A su vez, la exportación agropecuaria se origina en mayor grado desde pocos centros portuarios, localizados en Santa Fe y el norte y sur de la Provincia de Buenos Aires. Los puertos santafesinos con los del sur bonaerense se complementan debido a que ciertas mercaderías deben ser enviadas al área Bahía Blanca, único puerto de aguas profundas del país.

Visto en detalle, el escenario portuario se centra en:

**Zona Rosafe:** Complejo San Lorenzo-San Martín, Puerto Rosario y Villa Constitución

**Área Bahía Blanca:** Puerto de Bahía Blanca y Quequén

Rosafe concentra entre el 65% y 70% de la exportación física de granos y subproductos. A su vez, dentro de Rosafe, San Lorenzo-San Martín, mantiene una posición privilegiada en materia de exportación de subproductos agropecuarios y aceites vegetales.

En virtud de las condiciones de la red ferroviaria actual y de los pocos sitios beneficiados por su acceso, no se consideró este medio de transporte de significativa conveniencia. El tomador de decisiones frente a esta posibilidad deberá adaptarlo en su análisis.

El análisis del consumo energético (output) asociado al transporte, tanto del maíz como de los productos y coproductos, requiere considerar la energía de los insumos principales como el gasoil, el aceite, los aditivos y las cubiertas.

Los insumos secundarios, como la energía necesaria para construir los vehículos y la infraestructura vial no son considerados desde el punto de vista energético por su baja incidencia al tenerse en cuenta su amortización a lo largo de la vida útil de los mismos y la multiplicidad de fines y de usuarios.

De los insumos principales, el combustible (a los fines de este análisis y por lo general, el gasoil) es el de mayor impronta por lo que será el único considerado en la determinación del consumo energético del transporte. Este criterio es el asumido por la mayoría de los investigadores.

El análisis realizado considera el costo energético directo del transporte, es decir a nivel de usuario. No se computan las ineficiencias que integran la estructura de costos constituidas por variables como: gastos de neumáticos, lubricantes, distancia de regreso al origen, estado de la red vial, ni los posibles beneficios y ahorros por el empleo de prácticas de optimización y logística. Tampoco son computados los subsidios al transporte de combustibles ni de granos vinculados a las políticas vigentes.

#### *Análisis de destinos para maíz*

El tomador de decisiones deberá considerar la producción y destino de los productos de acuerdo a su situación particular, en función del lugar de producción, procesamiento y transporte asociado a su plan de negocios.

A continuación, se analiza la conveniencia de la transformación del maíz en bioetanol frente a su transporte y exportación vía marítima. En la Tabla 14, desde un abordaje cualitativo, se describen de manera sucinta las fortalezas y debilidades de cada instancia para ambas alternativas bajo consideraciones energéticas, sociales y económicas.

	DEBILIDAD RELATIVA
	SITUACIÓN INDIFERENTE
	FORTALEZA RELATIVA

	<b>COMERCIALIZACIÓN DEL MAIZ VIA PUERTO</b>	<b>PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN ORIGEN</b>
PRODUCCIÓN DE MAIZ	Igual consumo energético y monetario en ambos supuestos	Igual consumo energético y monetario en ambos supuestos
ACOPIO	La estacionalidad de la producción requiere del acopio de grandes cantidades previo a su traslado a puerto. Riesgos asociados a la conservación	No requiere acopio mientras que el bioetanol sea utilizado en la producción y el producto comercializado en el mercado local
TRANSPORTE	Consumo energético proporcional a la distancia al puerto. Elevada incidencia en la estructura de costos. Concentración de la producción provincias cercanas a los puertos.	El transporte involucra cortas distancias locales: centro de producción - centro de distribución.
LOGISTICA PORTUARIA	Ineficiencias propias del sistema de transporte y distribución colapsado estructuralmente y exigido estacionalmente.	No se utiliza
PROCESOS PRODUCTIVOS	El consumo energético de los procesos productivos deberá ser considerados si se pretende garantizar la disponibilidad energética del producto.	El consumo energético del proceso de transformación se encuentra acotado y como se determinó previamente, al no existir transporte garantiza una ganancia energética del 91%.
RELACIONES LABORALES	Mantiene el trabajo en el transporte de granos el cual se encuentra presionado por los procesos de flexibilización laboral, vinculados a la disponibilidad permanente para fletar, la extensión de la jornada laboral y la intensidad del trabajo camionero.	Requiere la misma mano de obra que la producción tradicional de maíz más la inducida por las labores de producción de etanol y manejo del feedlot. Generando puestos de trabajo de mayor especialización.
COMERCIALIZACION	Como toda commodity, el maíz se encuentra sujeto a las reglas del mercado y se comercializa sin diferenciación cualitativa en operaciones de compra y venta	La comercialización del bioetanol cubre una franja del sector energético nacional que aún con subsidios se presenta deficitario. Esto garantiza su comercialización a corto y mediano plazo.

	DEBILIDAD RELATIVA
	SITUACIÓN INDIFERENTE
	FORTALEZA RELATIVA

	COMERCIALIZACIÓN DEL MAÍZ VIA PUERTO	PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN ORIGEN
DISPONIBILIDAD ENERGÉTICA DEL MAÍZ O PRODUCTO	La capacidad energética del maíz se encuentra relacionada al tipo de transformación que facilite su asimilación biológica o su utilización física.	La disponibilidad energética, como para cualquier combustible, se encuentra garantizada para el bioetanol. El subproducto "burlanda" es de fácil bioasimilación por el ganado bajo las condiciones antedichas

Tabla 14. Comparación cualitativa de destinos para el maíz. Fuente: (CEAS S.A., 2017)

Los productores que incorporen la tecnología propuesta, destinando el bioetanol y sus coproductos al consumo local en lugar de la exportación de la producción de maíz podrán considerar estas fortalezas, entre las cuales el transporte constituye un ahorro significativo y cuantificable.

Además, desde el punto de vista energético, es posible comparar de forma cuantitativa la ganancia energética esperada del maíz al ser transportado a puerto para su comercialización con la ganancia que se obtendría de ser procesado en su lugar de origen. El costo energético para la siembra y cosecha del maíz será el mismo para ambos supuestos. Sin embargo, el análisis del costo de transporte depende de las distancias consideradas, que son función del sitio de producción. Por lo tanto, se debe analizar cada caso con detenimiento.

#### *Gasto energético implicado en el transporte del maíz*

A continuación, se analiza el gasto energético implicado en el transporte del maíz desde el lugar de producción hasta el procesamiento y el transporte de bioetanol hasta el lugar de consumo o comercialización. El transporte de la burlanda no será considerado debido a que generalmente los feedlots se ubican en el entorno próximo al sitio de producción.

Para la determinación del costo energético del transporte de un kilo de maíz se consideraron como parámetros de referencia el Consumo medio de combustible (gasoil o diésel, en km/l) y la Carga útil (kg) representativas de los vehículos de transporte de cargas en el país.

Estos valores se exponen a continuación en la Tabla 15.

<b>Parámetros de Referencia:</b>	
Carga útil (kg):	<b>28000</b>
Consumo medio de combustible (km/l)	<b>2,7</b>

Tabla 15. Parámetros de referencia del transporte. (Posada H, J. 2012.)

En base al consumo medio y a la carga útil se determinó el consumo de combustible para el transporte de un kilogramo de maíz una distancia de 1 Km.

Considerando una carga útil de 28000 kg, un consumo medio de combustible de 2,7 km/l y un costo energético unitario de la gasolina de 16.500 (Kcal/l) (Fluck, 1992), se obtiene:

$$\text{Output por transporte de maiz} = \frac{16500 \text{ kcal/l}}{2.7 \frac{\text{km}}{\text{l}} \times 28000 \text{ kg}} = 0.218 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \times \text{km}}$$

Por lo tanto, el gasto energético implicado en el transporte de maíz es de  $0.218 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \times \text{km}}$ .

Finalmente, se debe considerar el gasto energético implicado en el transporte del etanol producido en la destilería. Para ello, de acuerdo al transporte de combustible utilizado en el país, se consideró un camión cisterna con una carga útil de 30 m<sup>3</sup>.

Para estimar el consumo de combustible medio, relacionando con los valores del camión de carga de maíz, de acuerdo al peso transportado:

$$\text{Peso transportado} = \text{Carga útil} \times \delta_{\text{etanol}}$$

Siendo

$$\delta_{\text{etanol}} = \text{Densidad del etanol} = 0,79 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

Por lo tanto, el peso transportado será:

$$\text{Peso transportado} = 30.000 \text{ l} \times 0,79 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 23700 \text{ kg}$$

Considerando una relación lineal entre la carga transportada y el consumo de combustible, se obtiene un consumo medio de combustible para el camión cisterna de 2,28 km/l.

Finalmente, considerando un costo energético unitario de la gasolina de 16.500 (Kcal/l) (Fluck, 1992), el gasto energético por litro de etanol implicado será:

$$\text{Output por transporte de etanol} = \frac{16500 \text{ kcal/l}}{2.28 \frac{\text{km}}{\text{l}} \times 30.000 \text{ l}} = 0.24 \frac{\text{kcal}}{\text{l} \times \text{km}}$$

Para determinar el gasto energético por kg de maíz producido

$$\text{Output por transporte de etanol} = 0.24 \frac{\text{kcal}}{\text{l} \times \text{km}} \times P_{\text{etanol}}$$

Siendo

$$P_{\text{etanol}} = \text{Producción de etanol a partir de maíz} = 0,37 \frac{\text{l}}{\text{kg}}$$

Entonces, el gasto energético debido al transporte del etanol, expresado en kg de maíz por km de distancia se calcula como:

$$\text{Output por transporte de etanol} = 0.24 \frac{\text{kcal}}{\text{l} \times \text{km}} \times 0,37 \frac{\text{l}}{\text{kg}} = 0.089 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \times \text{km}}$$

Por lo tanto, el gasto energético implicado en el transporte de etanol es de  $0.089 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \times \text{km}}$ .

### 3.2.6 Consideraciones adicionales

Para las mini destilerías, las cantidades de vinaza y burlanda obtenidas a partir del proceso corresponden a los valores promedio obtenidos de plantas piloto.

Por el proceso químico de destilado y limpieza del maíz, la burlanda es un subproducto enriquecido en azufre y en contaminantes presentes en los agroquímicos. El aporte de azufre podría ser excesivo y eventualmente tóxico si no se realizan ajustes en la oferta mineral y la cantidad de burlanda incorporada en las dietas de los animales supera el 30%.

Es importante efectuar estudios periódicos de la composición de la burlanda, medir el valor energético de los piensos específicos para cada especie con el fin de proporcionar económicamente una dieta que satisfaga las necesidades nutricionales del animal. La energía neta disponible para el animal después de la digestión del pienso es la medida más importante. Es útil para medir la lactancia del ganado lechero, el mantenimiento y la ganancia para el ganado de engorde, etc. Sin embargo, es difícil medirlo ya que se pierde energía en el proceso digestivo en forma de heces, orina, gases y calor.

La energía contenida en las excretas de los rumiantes que se encontrarán en el feedlot son descartadas del balance y consideradas como pérdidas. Las mismas podrían aprovecharse con la incorporación al proceso de un biodigestor cuyos productos serían gas metano para la generación de energía y material de compostaje. De esta forma se cerraría el círculo productivo.

Finalmente, para determinar el sitio adecuado para la implementación del proyecto se deberán tener en cuenta condicionantes como.

- Abundancia del recurso primario, es decir el maíz,
- Provisión de agua y energía en el sitio
- La existencia de mano de obra calificada y la cercanía de una comunidad que le pueda dar soporte a la planta y su personal
- Cuerpos de agua y áreas regularmente inundadas,
- Reservas naturales y bosque nativo,
- Límites de áreas urbanas,
- Red vial, que influyen directamente en la accesibilidad al sitio y los costos de transporte.

## 4) CAPÍTULO 4: APLICACIÓN Y RESULTADOS

### 4.1) Obtención de los datos

Los datos analizados fueron los rendimientos en la producción de maíz por localidad, obtenidos por la Bolsa de Cereales de Córdoba. Las localidades y sus rendimientos se encuentran en la Tabla 16 y corresponden a la Campaña de Maíz 17/18. Además, se utilizaron los rendimientos promedio por departamento, de las Campañas 07/08 hasta la 17/18, obtenidos en la página web del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (Fuente: <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/estimaciones-agricolas>). Dichos datos se detallan también en la Tabla 16. Cabe destacar que se comprobó la representatividad de los datos por localidad, ya que se encuentran dentro del rango del rendimiento promedio por departamento.

Departamento	Localidad	Coordenadas		Rendimiento (kg/ha)
<b>Calamuchita</b>				<b>5615</b>
	Los Cóndores	-32.320676	-64.281205	6385
<b>Colon</b>				<b>6453.8</b>
	Colonia Caroya	-31.020274	-64.062767	4200
	Estación General Paz	-31.134091	-64.141197	4335
	Jesús María	-30.981594	-64.094616	4450
	Rio Ceballos	-31.172696	-64.310959	5720
	Salsipuedes	-31.136931	-64.296198	5000
<b>General Roca</b>				<b>6713.6</b>
	Del Campillo	-34.376184	-64.494786	8050
	Hipólito Bouchard	-34.720862	-63.506666	7256
	Huinca Renancó	-34.838303	-64.377202	4980
	Jovita	-34.520558	-63.944292	8175
	Lecueder	-34.494902	-64.810177	12717.5
	Mattaldi	-34.481934	-64.17073	7020
	Nicolas Bruzone	-34.438534	-64.340302	5112.5
	Villa Huidobro	-34.836789	-64.583805	5330
	Villa Sarmiento	-34.12177	-64.724836	5990
	Villa Valeria	-34.341439	-64.918603	7120
<b>General San Martín</b>				<b>7452</b>
	Arroyo Cabral	-32.491118	-63.400967	4860
	Chazon	-33.078429	-63.275467	5290
	Etruria	-32.940436	-63.249348	5350
	La Laguna	-32.801443	-63.243935	6350
	Silvio Pellico	-32.249945	-62.930735	5300
	Ticino	-32.695505	-63.436157	5620
	Villa María	-29.905203	-63.723685	6800
<b>Ischilín</b>				<b>5384</b>

Departamento	Localidad	Coordenadas		Rendimiento (kg/ha)
	Huasca	-30.604485	-64.741799	4500
	Villa Gutiérrez	-30.677591	-64.160645	4500
<b>Juárez Celman</b>				<b>5634</b>
	Bengolea	-33.029433	-63.672664	7424
	General Cabrera	-32.815842	-63.886766	3720
	General Deheza	-32.755274	-63.787997	4380
	Huanchillas	-33.666704	-63.636826	6380
	La Carlota	-33.422838	-63.297232	5745
	Olaeta	-33.04448	-63.907787	7424
	Reducción	-33.198455	-63.861998	7515
	Santa Eufemia	-33.175234	-63.282421	5550
	Ucacha	-33.033072	-63.507187	7750
<b>Marcos Juárez</b>				<b>9226.5</b>
	Arias	-33.641113	-62.403078	8901
	Camilo Aldao	-33.12757	-62.09471	11450
	Corral De Bustos	-33.281146	-62.183459	9925
	Guatimozin	-33.460981	-62.43749	11200
	Inriville	-32.944394	-62.230515	9750
	Isla Verde	-33.242375	-62.404188	11510
	Leones	-32.653495	-62.297499	9190
	Los Surgentes	-32.986521	-62.024634	10310
	Marcos Juárez	-32.689695	-62.1007	9488
	Monte Buey	-32.917064	-62.458058	10290
<b>Pocho</b>				<b>5982.8</b>
	Villa De Pocho	-31.489808	-65.28108	4000
<b>Presidente Roque Sáenz Peña</b>				<b>6999.3</b>
	Colonia La Providencia	-33.951385	-63.613146	7540
	General Levalle	-34.010674	-63.924324	7144
	Laboulaye	-34.124646	-63.389741	7105
	Melo	-34.349084	-63.446281	8180
	Serrano	-34.470836	-63.538985	7500
<b>Rio Cuarto</b>				<b>5469.2</b>
	Adelia María	-33.627849	-64.020927	5806.25
	Alcira Gigena	-32.755418	-64.33953	5040
	Berrotarán	-32.450208	-64.388141	5550
	Chajan	-33.55588	-65.003912	4932.5
	Chucul	-33.008568	-64.170954	3355



Departamento	Localidad	Coordenadas		Rendimiento (kg/ha)
	La Gilda	-33.208783	-64.259823	5802.5
	Las Acequias	-33.280575	-63.977306	5382
	Las Vertientes	-33.282289	-64.578813	4750
	Rio Cuarto	-33.134038	-64.348299	4840
	Sampacho	-33.383971	-64.722915	3315
	San Basilio	-33.496597	-64.315693	4525
	Vicuña Mackenna	-33.920252	-64.389231	4900
	Villa Marcelina	-33.647543	-64.42311	7397.5
	Washington	-33.874708	-64.689404	4715
<b>Rio Primero</b>				<b>6454</b>
	Capilla De Los Remedios	-31.428481	-63.833162	5580
	Chalacea	-30.762509	-63.559079	4900
	El Crispin	-31.019721	-63.606582	4000
	La Para	-30.891447	-63.001631	3850
	La Puerta	-30.891768	-63.254216	4355
	Monte Del Rosario	-30.983288	-63.601512	4388
	Montecristo	-31.343978	-63.945778	5270
	Nueva Andalucía	-31.202747	-63.745179	3420
	Obispo Trejo	-30.780308	-63.411804	4140
	Piquillín	-31.30219	-63.760311	5815
	Rio Primero	-31.330326	-63.619994	5550
	Villa Fontana	-30.895961	-63.117136	4590
	Villa Santa Rosa De Rio Primero	-31.162971	-63.403303	3720
<b>Rio Seco</b>				<b>6197.6</b>
	Rayo Cortado	-30.07464	-63.823784	6200
	Sebastián Elcano	-30.16264	-63.593487	3500
	Villa De María De Rio Seco	-29.905203	-63.7236	6000
<b>Rio Segundo</b>				<b>6835.8</b>
	Calchín	-31.666227	-63.199864	6800
	Calchín Oeste	-31.862046	-63.278137	6060
	Carrilobo	-31.87348	-63.115224	5700
	Laguna Larga	-31.777822	-63.800924	7093
	Las Junturas	-31.82942	-63.450082	6500
	Los Chañaritos	-31.401399	-63.332341	4600
	Luque	-31.651983	-63.345347	6875
	Matorrales	-31.713826	-63.515085	6225
	Oncativo	-31.915411	-63.68256	7960

Departamento	Localidad	Coordenadas		Rendimiento (kg/ha)
	Pilar	-31.664751	-63.888814	6320
	Pozo Del Molle	-32.017946	-62.91847	7720
	Rio Segundo	-31.648397	-63.907675	5638
	Villa Del Rosario	-31.558924	-63.536816	6650
<b>San Alberto</b>				<b>6261.7</b>
	Mina Clavero	-31.729751	-65.004271	4500
<b>San Justo</b>				<b>6971</b>
	Altos De Chipión	-30.954357	-62.339258	4544
	Arroyito	-31.417576	-63.047185	4429
	Balnearia	-31.009827	-62.666536	4100
	Brinckmann	-30.868061	-62.034149	5575
	Colonia Marina	-31.249153	-62.362771	8231
	Colonia San Bartolomé	-31.528558	-62.724368	7400
	El Arañado	-31.741598	-62.895073	5789
	Freyre	-31.165716	-62.099859	5725
	La Francia	-31.407119	-62.634268	6685
	La Tordilla	-31.220897	-63.031367	4964
	Las Varillas	-31.874495	-62.721871	5624
	Morteros	-30.714386	-62.006874	3000
	Porteña	-31.01529	-62.061141	4700
	Quebracho Herrado	-31.549548	-62.225986	5056
	Sacanta	-31.666023	-63.045101	5218
	San Francisco	-31.42929	-62.078494	7401
	Saturnino María Laspiur	-31.703862	-62.482832	6025
	Transito	-31.425788	-63.197053	5050
<b>Santa María</b>				<b>6897.5</b>
	Alta Gracia	-31.662018	-64.437633	5950
	Despeñaderos	-31.816482	-64.290916	7000
	Malagueño	-31.461506	-64.351647	8245
	Monte Ralo	-31.91221	-64.239178	5900
<b>Tercero Arriba</b>				<b>7219.3</b>
	Almafuerte	-32.195811	-64.254133	5260
	Corralito	-32.028301	-64.191555	6590
	Hernando	-32.42896	-63.731549	6525
	James Craik	-32.162517	-63.465092	4574
	Las Isletillas	-32.511193	-63.932076	8370
	Las Perdices	-32.698816	-63.70584	7600
	Oliva	-32.04308	-63.570263	8750

Departamento	Localidad	Coordenadas		Rendimiento (kg/ha)
	Rio Tercero	-32.170862	-64.121984	5565
	Tancacha	-32.241344	-63.980393	6820
	Villa Ascasubi	-32.163483	-63.890474	6560
<b>Totoral</b>				<b>6399.2</b>
	Barranca Yaco	-30.864156	-64.100998	5650
	Cañada De Luque	-30.738514	-63.725447	5980
	Sinsacate	-30.946636	-64.080674	4925
	Villa Del Totoral	-30.706316	-64.06264	5810
<b>Tulumba</b>				<b>5434</b>
	Las Arrias	-30.378216	-63.596046	5150
	San José De La Dormida	-30.352027	-63.947159	5037.5
<b>Unión</b>				<b>8698.7</b>
	Ballesteros	-32.546137	-62.980108	8570
	Bell Ville	-32.625025	-62.69544	8200
	Canals	-33.564759	-62.887397	8510
	Idiazabal	-32.813493	-63.032097	8570
	Justiniano Posse	-32.884195	-62.678734	11000
	Laborde	-33.154652	-62.856709	9100
	Monte Maíz	-33.206552	-62.599244	10000
	Pueblo Italiano	-33.881798	-62.840568	7550
	San Marcos Sud	-32.629136	-62.481728	7650

Tabla 16. Rendimientos por localidad y departamento. (Fuente: Elaboración propia con datos de BCCBA y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.)

La distribución espacial de los datos utilizados de rendimiento por localidad se muestra a continuación en la Figura 24. Además, se interpolaron los valores de rendimiento para generalizar los valores utilizados.

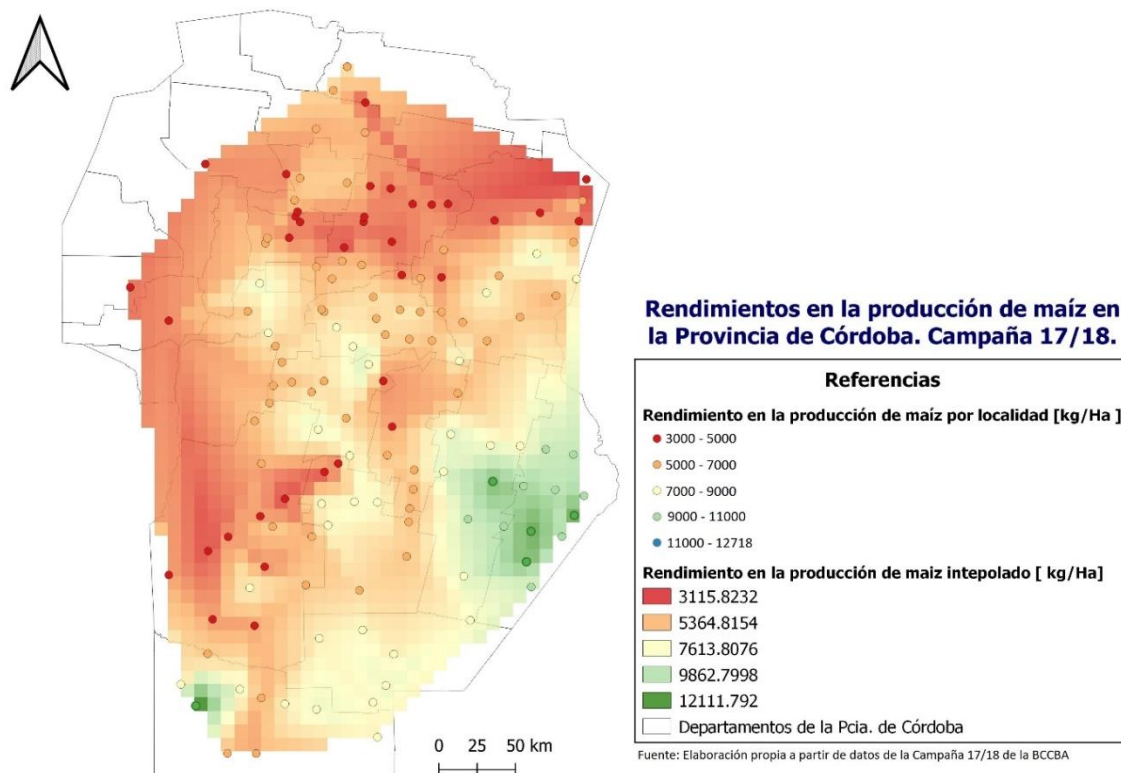


Figura 24. Rendimiento en la producción de maíz por localidad en la provincia de Córdoba. (Fuente: Elaboración propia.)

## 4.2) Presentación de Resultados

### 4.2.1 Instrumentación para determinar el potencial de generación de bioetanol en cada punto de la provincia de Córdoba.

Para determinar el potencial de generación de bioetanol en cualquier sitio de la provincia de Córdoba, se recomienda que el usuario utilice la siguiente metodología:

1. Determinar el rendimiento de la producción de maíz esperado en el sitio, a partir de la capa de SIG presentada en la Figura 17.
2. Determinar el requerimiento de fertilizantes, con los niveles de extracción de la Tabla 1 y la siguiente fórmula:

$$\text{Fertilización requerida [Kg/Ha]} = \text{Rendimiento [Tn/Ha]} \times \frac{100}{100 + Hc} \times \text{Extracción en grano [Kg/Tn]}$$

3. Determinar la necesidad de riego del cultivo.
4. Determinar la tecnología a aplicar. En el presente informe se analizan las destilerías de molienda seca, molienda húmeda y mini destilerías.

5. Realizar el balance energético con las tablas aplicadas para los casos testigo que se encuentran en el apartado 5.2).
6. Definir la relación de input/output que indica la rentabilidad del emprendimiento en términos energéticos.
7. Valorar el transporte y comercialización del producto por medio de la red vial haciendo uso de las capas de SIG del OAT, disponibles en [http://www.ciisa.inv.efn.uncor.edu/?page\\_id=77](http://www.ciisa.inv.efn.uncor.edu/?page_id=77)

El usuario deberá realizar además un análisis económico para determinar la viabilidad del proyecto.

#### **4.2.2 Balance energético para casos testigo**

A continuación, se presenta la síntesis del balance energético para los ingresos en las etapas de producción de maíz y etanol, junto a las ganancias de los productos y coproductos desarrollado en base a los conceptos y consideraciones expuestas previamente sobre tres casos testigo. Se eligieron para ello tres localidades representativas de distintos rendimientos:

- Camilo Aldao, con un rendimiento de 10733 kg/ha.
- Monte Ralo, con un rendimiento de 5690 kg/ha.
- Mina Clavero, con un rendimiento de 4900 kg/ha.

La distribución espacial de las localidades analizadas se representa en la Figura 25.



Figura 25. Ubicación espacial de las localidades analizadas en el informe. (Fuente: Elaboración propia.)

Para el análisis, se utilizó el procedimiento detallado en el apartado 4.2.1.

### 1. Rendimiento de producción de maíz

Para las tres localidades analizadas en el presente informe, se obtuvieron los siguientes rendimientos a partir del Índice de productividad.

- Camilo Aldao, con un rendimiento de 10733 kg/ha.
- Monte Ralo, con un rendimiento de 5690 kg/ha.
- Mina Clavero, con un rendimiento de 4900 kg/ha.

### 2. Requerimiento de fertilizantes

Para obtener la energía por kg de maíz que implica el uso de fertilizantes, se realizó un diagnóstico de fertilidad del cultivo de maíz, obteniendo una fertilización requerida igual al nivel de extracción total de nutrientes, expresada en [kg/ha].

El cálculo se realizó para Nitrógeno, Fosforo, Potasio y Calcio, considerando una Humedad comercial del maíz del 14,5%.

Para las tres localidades analizadas, la fertilización requerida calculada se presenta en la Tabla 17.

Localidad	Rendimiento ponderado [kg/ha]	Fertilización N* [kg/ha]	Fertilización P* [kg/ha]	Fertilización K* [kg/ha]	Fertilización Ca* [kg/ha]
Camilo Aldao	10733	206,22	37,50	178,10	28,12
Monte Ralo	5690	109,33	19,88	94,42	14,91
Mina Clavero	4900	94,15	17,12	81,31	12,84

Tabla 17. Fertilización requerida en las tres localidades analizadas. (Fuente: Elaboración propia.)

### 3. Necesidad de riego del cultivo

En este análisis se considera el cultivo a secano, teniendo en cuenta que es la explotación más usual del territorio provincial en virtud a las condiciones climatológicas.

### 4. Tecnología a aplicar

En el presente informe se analizan las tres tecnologías disponibles: destilerías de molienda seca, destilerías de molienda húmeda y mini destilerías. El usuario deberá adoptar la que resulte más conveniente.

### 5. Balance energético

El balance detallado de cada localidad se encuentra en el Anexo II, apartado 5.2). Los resultados obtenidos se exponen en el punto siguiente.

### 6. Relación de input/output

Para las localidades analizadas, los resultados del balance energético se resumen a continuación en la Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20. En el mismo, se calcula además la relación input/output para cada caso (considerando y sin considerar los coproductos).

## Localidad Camilo Aldao

Balance Energético Resumen				
	Unidad	Destilerías con Molienda Seca	Destilerías con Molienda Húmeda	Mini destilerías
Energía total insumida	Kcal por kg de maíz	1739,81	1874,57	1181,15
Energía total producida considerando coproductos	Kcal por kg de maíz	2480,28	2518,81	3168,24
Energía total producida sin considerar coproductos	Kcal por kg de maíz	2136,51	2136,51	2136,51
Balance energético considerando coproductos	Kcal por kg de maíz	740,47	644,24	1987,09
Balance energético sin considerar coproductos	Kcal por kg de maíz	396,70	261,94	955,36
Relación input/output con coproductos		1,43	1,34	2,68
Relación input/output sin coproductos		1,23	1,14	1,81

Tabla 18. Resumen de los resultados obtenidos en el Balance energético realizado para la localidad de Camilo Aldao. (Fuente: Elaboración propia.)

### Localidad Monte Ralo

Balance Energético Resumen				
	Unidad	Destilerías con Molienda Seca	Destilerías con Molienda Húmeda	Mini destilerías
Energía total insumida	Kcal por kg de maíz	1909,27	2044,03	1350,60
Energía total producida considerando coproductos	Kcal por kg de maíz	2480,28	2518,81	3168,24
Energía total producida sin considerar coproductos	Kcal por kg de maíz	2136,51	2136,51	2136,51
Balance energético considerando coproductos	Kcal por kg de maíz	571,01	474,78	1817,64
Balance energético sin considerar coproductos	Kcal por kg de maíz	227,24	92,48	785,91
Relación input/output con coproductos		1,30	1,23	2,35
Relación input/output sin coproductos		1,12	1,05	1,58

Tabla 19. Resumen de los resultados obtenidos en el Balance energético realizado para la localidad de Monte Ralo. (Fuente: Elaboración propia.)

### Localidad Mina Clavero

Balance Energético Resumen				
	Unidad	Destilerías con Molienda Seca	Destilerías con Molienda Húmeda	Mini destilerías
Energía total insumida	Kcal por kg de maíz	1967,41	2102,17	1408,75
Energía total producida considerando coproductos	Kcal por kg de maíz	2480,28	2518,81	3168,24
Energía total producida sin considerar coproductos	Kcal por kg de maíz	2136,51	2136,51	2136,51
Balance energético considerando coproductos	Kcal por kg de maíz	512,87	416,64	1759,49
Balance energético sin considerar coproductos	Kcal por kg de maíz	169,10	34,34	727,76
Relación input/output con coproductos		1,26	1,20	2,25
Relación input/output sin coproductos		1,09	1,02	1,52

Tabla 20. Resumen de los resultados obtenidos en el Balance energético realizado para la localidad de Mina Clavero. (Fuente: Elaboración propia.)



Analizando los resultados obtenidos para las tres localidades testigo, se observa que el balance energético da siempre positivo y las relaciones input/output son mayores a la unidad, lo que implica que la ganancia energética supera a la energía implicada en el proceso de producción de maíz y etanol.

Las Figura 26, Figura 27 y Figura 28 representan las relaciones obtenidas para las tres localidades analizadas. En ellas se evidencia una notable diferencia entre las distintas tecnologías. De acuerdo a los resultados, las mini destilerías resultan más convenientes desde el punto de vista energético. Cabe destacar que los valores de consumo energético para las destilerías tradicionales fueron obtenidos en la bibliografía mencionada, mientras que, en el caso de las mini destilerías, los informes son más recientes y detallados. En consecuencia, un estudio energético de destilerías con la misma complejidad o grado de profundidad que el de las mini destilerías, permitiría obtener resultados más competitivos.

A su vez, indudablemente la relación aumenta al considerar los coproductos, lo que impulsa a aprovechar la burlanda húmeda y la vinaza liviana e instalar la planta preferentemente cercana a los feedlots para disminuir costos de transporte.

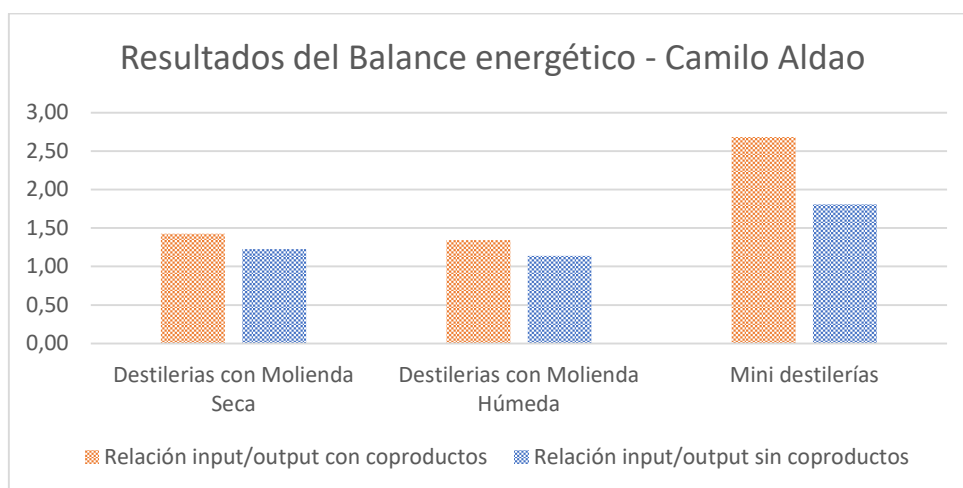


Figura 26. Relación input/output para Camilo Aldao, de acuerdo a los resultados del balance energético realizado. (Fuente: Elaboración propia.)

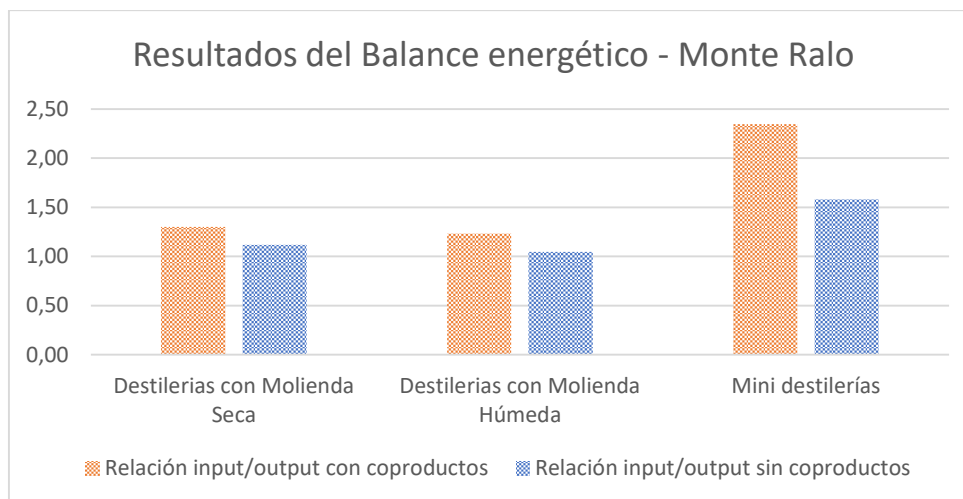


Figura 27. Relación input/output para Monte Ralo, de acuerdo a los resultados del balance energético realizado. (Fuente: Elaboración propia.)

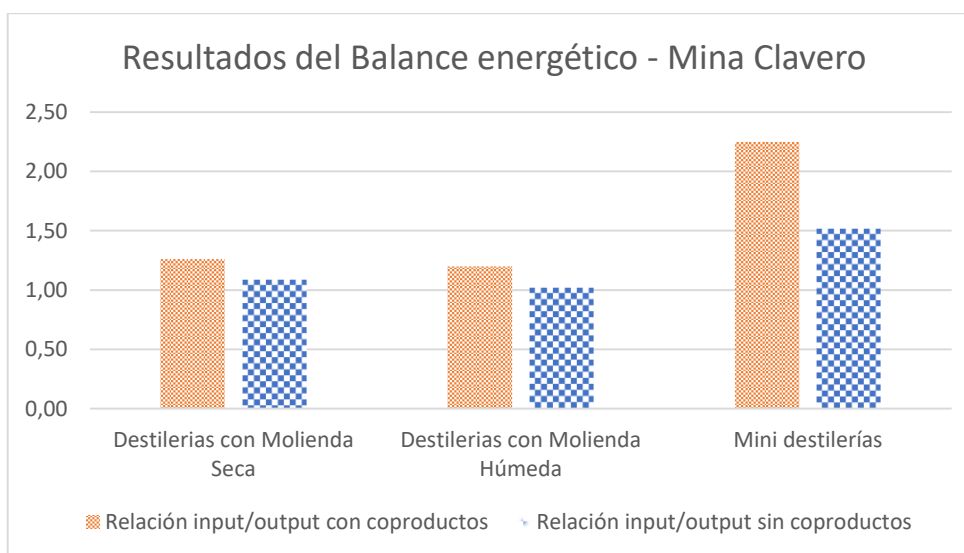


Figura 28. Relación input/output para Mina Clavero, de acuerdo a los resultados del balance energético realizado. (Fuente: Elaboración propia.)

Además, la conveniencia en el balance energético está fuertemente ligada al rendimiento en la producción de maíz. Por lo tanto, se obtiene mayor beneficio en las localidades con mayor rinde, en este caso Camilo Aldao, que coincide a su vez con las zonas tradicionales de producción agropecuaria de la provincia de Córdoba.

Finalmente, la localidad menos conveniente para la generación de bioetanol a partir de maíz es Mina Clavero, debido al bajo rendimiento de producción de maíz, seguida de Monte Ralo. Sin embargo, en todos los casos la ganancia energética es mayor a las pérdidas, por lo que es viable el proyecto. El tomador de decisiones deberá determinar si la utilidad le resulta conveniente o no.

### 7. Transporte y comercialización del producto

Utilizando las capas de SIG de la red vial provincial, realizada por el equipo de OAT, disponibles en [http://www.ciisa.inv.efn.uncor.edu/?page\\_id=77](http://www.ciisa.inv.efn.uncor.edu/?page_id=77), se determinó la accesibilidad de las localidades testigo, tal como se observa en la Figura 29.

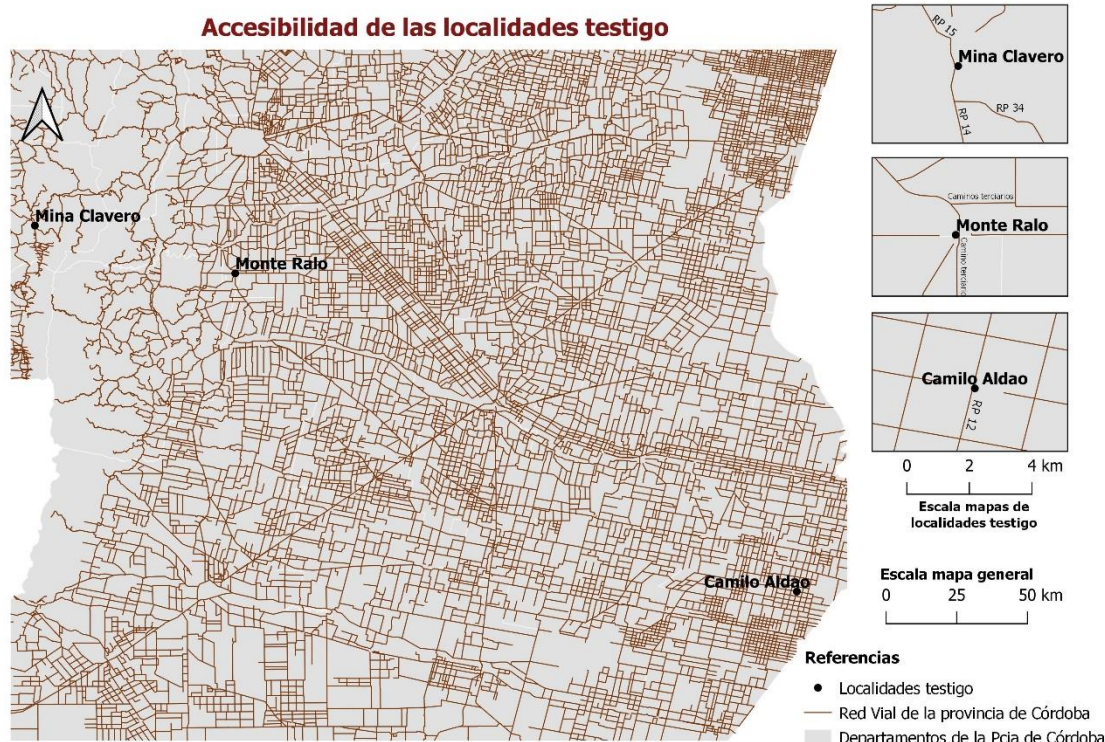


Figura 29. Accesibilidad de las localidades testigo (Fuente: Elaboración propia.)

Por la localidad de Camilo Aldao pasa la Ruta Provincial 12, la cual es pavimentada y considerada una ruta primaria. Los caminos restantes, son terciarios y no se encuentran pavimentados.

La localidad de Monte Ralo cuenta con caminos secundarios pavimentados. A 10 km del centro de la localidad, pasa la Ruta Nacional 36.

Por la localidad de Mina Clavero pasa la Ruta Provincial 14 y la Ruta Provincial 15, además de la Ruta Provincial 34 que se dirige hacia Córdoba Capital. Las tres rutas son primarias y se encuentran pavimentadas.

### 4.2.3 Incidencia del transporte

Para el análisis del gasto energético implicado en el transporte, desde cualquier punto de la provincia, se consideró que el transporte de maíz es viable en una distancia que no supere los 500 km desde el sitio de producción hasta la planta de generación de etanol. A su vez, se tuvo en cuenta que el etanol generado se podrá transportar un rango de distancia mayor, hasta 1000 km, debido a la posibilidad de exportación desde el puerto.

Los resultados obtenidos se representan en la Figura 30, donde se observa que el mayor gasto energético está dado por el transporte de maíz. Además, se grafica la envolvente de los costos energéticos totales en que podría incurrir un productor. La superficie bajo esta curva representa los costos totales asociados a todas las situaciones posibles de transporte. El tomador de decisiones deberá considerar su situación particular, en función del lugar de producción, procesamiento y transporte asociado a su plan de negocios.

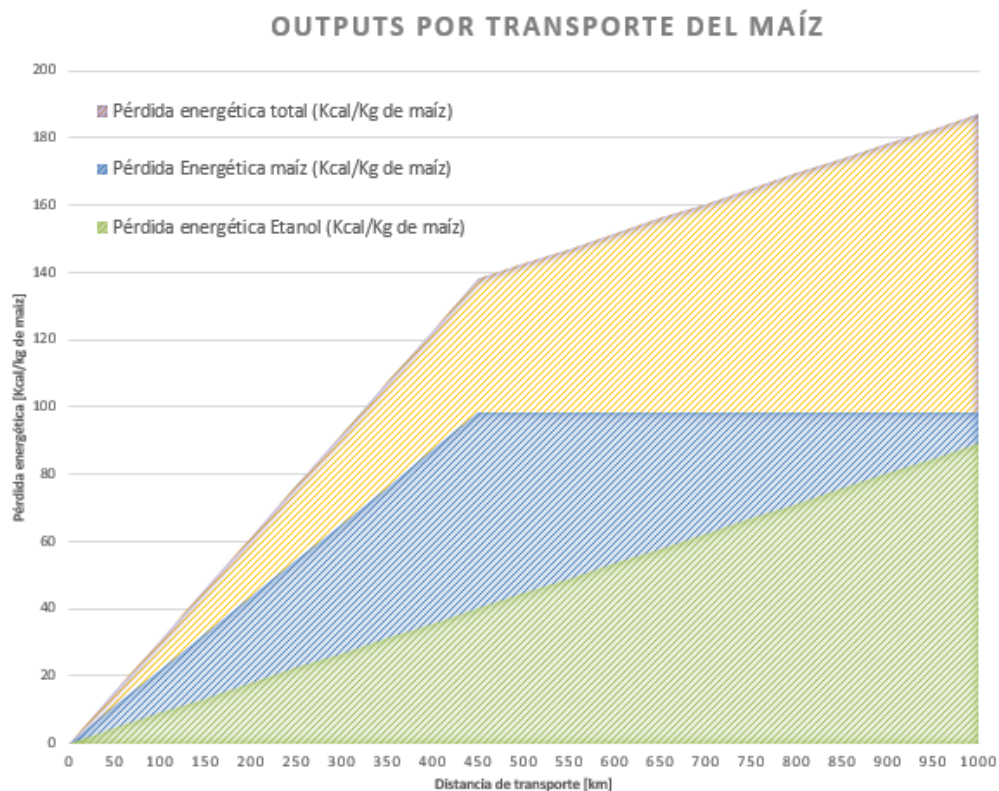


Figura 30. Outputs por transporte de maíz. (Fuente: Elaboración propia.)

### 4.3) Conclusiones y recomendaciones

En el presente proyecto se plantea evaluar el potencial de generación de bioetanol a partir de maíz en la provincia de Córdoba. Para ello, se realizó un balance energético considerando la energía implicada en la producción de maíz y en la generación del etanol, además de la ganancia energética del etanol y los coproductos resultantes. A partir de la información recopilada y los resultados obtenidos, se pueden formular las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Las herramientas incorporadas al SIG en este trabajo permiten determinar la factibilidad de generación de bioetanol en cualquier punto de la provincia de Córdoba, siguiendo la metodología propuesta. En consecuencia, son útiles para la toma de decisiones respecto a la implementación de proyectos para el aprovechamiento de energía de la biomasa.
- La incorporación de nueva información en forma periódica en el SIG permitirá refinar los resultados obtenidos en materia de rendimiento del cultivo de maíz y de los factores que dependen de él.
- La conveniencia de la implementación de cada proyecto está fuertemente ligada al rendimiento en la producción de maíz. Por lo tanto, se obtiene mayor beneficio en las localidades con mayor rinde, las que generalmente se encuentran en las zonas sur y este de la provincia de Córdoba, coincidiendo con las regiones tradicionales de producción agropecuaria.

- La implementación de riego para el cultivo permite un aumento en el rendimiento de las tierras, pero implica un gasto extra de energía. En consecuencia, se debe realizar un análisis en cada caso para determinar su conveniencia.
- La consideración de los coproductos resultantes en el proceso de generación de etanol (granos partidos, burlanda húmeda y vinaza liviana) aumenta la conveniencia del proyecto. Como se pudo determinar en el análisis de la energía metabolizable por los animales, los coproductos constituyen un importante aporte alimentario. Adicionalmente, la vinaza liviana también podría ser utilizada para fertiriego, en lugar de aprovecharse dentro del feedlot.
- En el presente balance no se consideró la energía que podría aprovecharse de las excretas de los rumiantes del feedlot. La misma se podría utilizar con la incorporación de un biodigestor al proceso, generando gas metano y material de compostaje. De esta forma se cerraría el círculo productivo.
- Para evitar costos de transporte, se recomienda ubicar la destilería o mini destilería en un sitio cercano al sector de producción y al feedlot donde se aprovecharían los coproductos.
- En el análisis realizado se evidencia una notable diferencia entre las distintas tecnologías (destilerías con molienda seca, destilerías con molienda húmeda y mini destilerías). De acuerdo a los resultados obtenidos, las mini destilerías resultan más convenientes desde el punto de vista energético. Cabe destacar que los valores de consumo energético para las destilerías tradicionales fueron obtenidos en la bibliografía mencionada mientras que, en el caso de las mini destilerías, los informes son más recientes y detallados. En consecuencia, un estudio energético de destilerías con la misma complejidad o grado de profundidad que el de las mini destilerías, permitiría obtener resultados más competitivos.
- Las capas generadas por el equipo de OAT resultaron muy útiles para el trabajo realizado. Además, se pueden utilizar para evaluar impactos a poblaciones cercanas, impactos visuales, disponibilidad de la red vial para el transporte del producto elaborado, presencia de áreas naturales protegidas, canales de riego, cursos y cuerpos de agua, entre otros.
- Las nuevas tecnologías agropecuarias están logrando un aumento en los rendimientos de la producción y disminuyendo la necesidad de insumos, lo que redundaría en un beneficio en términos energéticos, aumentando la conveniencia de la implementación de proyectos de este tipo.
- El estudio de imágenes satelitales a través de distintas bandas permite definir los estados de humedad de los suelos y cobertura vegetal, lo que incorporado en tiempo real al SIG contribuiría a una más ajustada toma de decisiones
- Los datos de rendimiento de producción de maíz por localidad utilizados en el presente informe corresponden a la Campaña 2017/2018. Para un mejor análisis, se debería considerar un mayor número de campañas, lo que se ve dificultado por la deficiencia en la disponibilidad de los datos.
- La generación de bioenergía a través de cultivos energéticos compite con la producción de maíz con fines alimenticios. A pesar de ello, en Argentina se observa un crecimiento de ambos aprovechamientos en forma conjunta, lo que indica que la disponibilidad de tierras para el cultivo no llegó a la saturación.

## 5) CAPÍTULO 5: ANEXOS

### 5.1) Anexo I. Procesos de transformación de biomasa en energía

Tal como se desarrolló en el apartado 2.5.7, para transformar la biomasa en energía se recurre a distintos procesos, dependiendo de las características de humedad de la biomasa a utilizar. Los procesos pueden ser físicos, mediante una extracción directa de hidrocarburos, termoquímicos, como la combustión directa, gasificación, pirólisis y licuefacción, o bioquímicos, como la digestión aerobia y anaerobia. Además, los Residuos Sólidos Urbanos pueden ser recuperados energéticamente con la técnica de incineración, o dispuestos en vertederos con una posterior captura y aprovechamiento del biogás generado.

#### 5.1.1 Procesos físicos

*Extracción directa de hidrocarburos:* Extracción de hidrocarburos o compuestos afines de elevado poder calorífico, producidos por especies vegetales en su metabolismo. El proceso se realiza con disolventes. Según la especie a tratar, variará el tratamiento previo, los disolventes utilizados a lo largo del proceso y las diferentes fracciones obtenidas al final de cada operación.

#### 5.1.2 Procesos termoquímicos

Mediante procesos termoquímicos se obtiene como producto combustibles sólidos, líquidos o gaseosos adecuados a diversas aplicaciones, a partir de someter la biomasa a diferentes procesos de oxidación bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. Entre los procesos termoquímicos se encuentra la combustión directa, gasificación, pirólisis y licuefacción.

##### *Combustión Directa*

Es el sistema más elemental para la recuperación energética de la biomasa. En este proceso, el combustible (materia orgánica) reacciona químicamente con el oxígeno en una reacción exotérmica, obteniéndose dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) cenizas, calor y, si los elementos azufre y nitrógeno forman parte de los reactivos, óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_x\text{O}_z$ ).

Mediante la combustión directa se aprovecha la **dendroenergía**, siendo la energía derivada de bosques, árboles y otras vegetaciones de áreas forestadas.

Para la generación de energía por combustión directa se deben considerar las áreas de acopio y el equipamiento adecuado para el movimiento de la biomasa, ya que debido a la baja densidad energética (cantidad de calor que se puede obtener por unidad de volumen de biomasa), deben manejarse importantes volúmenes de biomasa.

Además, es importante considerar la disposición y tratamiento de los residuos y emisiones finales del proceso, debido a que la combustión genera cenizas o residuos que deben ser evacuados de la caldera o gasificadores e implementar una adecuada disposición final. Las emisiones gaseosas deben ser depuradas mediante filtros que garanticen no superar los límites establecidos para no afectar el medio ambiente circundante.

Existen actualmente diversas técnicas para la combustión de la biomasa, que se encuentran condicionadas fundamentalmente por la humedad y granulometría. Las técnicas se pueden agrupar en tres tipos:

- **Combustión en masa:** Es el tipo de combustión de hogar rotativo o en parrilla tipo vibrante. La biomasa, que puede ser de gran tamaño, se deposita en la parrilla o lecho donde permanece hasta completar su secado y combustión. Es adecuada para combustibles de alto contenido de humedad y que generan residuos de composición variable. El combustible no necesita demasiados tratamientos previos, por lo que presenta notables ventajas de versatilidad, aunque es un sistema caro.
- **Combustión en suspensión:** En este tipo de proceso, el combustible (transportado por un sistema neumático) es lanzado al hogar a través de un quemador y se quema en suspensión, sin que la materia toque las paredes o se deposite en el fondo del hogar. Es un sistema adecuado para combustibles de bajo contenido en humedad y un estrecho rango de distribución de tamaños.
- **Combustión en semi-suspensión:** En él, la materia se deposita sobre una parrilla, realizándose la combustión de la materia ligera en suspensión y la parte pesada combustiona en la parrilla. El combustible debe tener un tamaño medio típico de 3-50 mm y no debe presentar problemas de aglomeración o autopegamiento.

Los factores fundamentales que afectan al proceso de combustión son:

- Características físicas, químicas y térmicas de la biomasa (combustible).
  - Físicas: Densidad, tamaño y humedad
  - Químicas: Bajo contenido de azufre
  - Térmicas: Dependen de las físicas y las químicas.
- El porcentaje de oxígeno. Debe haber un 20-40% de oxígeno superior al teórico.
- La temperatura a la que se realiza la misma (entre 600°C y 1.300°C).

A su vez, la combustión directa puede llevarse a cabo en sistemas de utilización de la energía, tales como conducción de vapor o turbogenerador, o en equipos de recuperación de calor o calentamiento directo, tales como sistemas de calefacción, chimeneas, hornos de leña, calderas, entre otros.

#### Sistemas de utilización de la energía

**Motores a vapor:** Consiste en la combustión de la biomasa en una caldera y utilizar el vapor generado para accionar el motor. Básicamente, la instalación se compone de una caldera de media presión, normalmente hasta 25 bar, de vapor ligeramente sobrecalentado que se utiliza para mover un motor alternativo muy similar a los motores de combustión interna. Es la tecnología más antigua y actualmente casi no es utilizada, aunque pueden encontrarse algunas instalaciones en operación.

Como variantes se han diseñado motores de cilindros a simple o doble efecto, con válvulas de asiento o corredizas, de una o varias de expansión con el objetivo de hacer equipos más compactos, más eficientes o más durables. (FAO, 2019)

**Central turbovapor:** Central de generación eléctrica, cuya maquina motriz es una turbina de vapor cuya fuente es una caldera. Consta de cuatro etapas o partes, que se observan gráficamente en la Figura 31 y se detallan a continuación:

- **Caldera:** Recinto especialmente diseñado en el cual los dendrocombustibles son quemados. Pueden ser de tipo humotubular o acuotubular, dependiendo principalmente de la capacidad de la instalación. Generalmente, para potencias menores se utilizan calderas humotubulares. La caldera es alimentada por uno o más tipos de dendrocombustibles y aprovecha el poder calorífico de los mismos para generar vapor en condiciones de presión y temperatura adecuadas para ser enviado a una turbina.
- **Turbina:** Máquina compuesta por un eje con alabes. La energía del vapor mueve los alabes, haciéndolos girar a gran velocidad, transformando la energía calórica en energía mecánica. Luego de su evolución en la turbina, el vapor es condensado y se utiliza para alimentar la caldera, cerrando el ciclo térmico.
- **Generador:** El eje de la turbina se encuentra acoplado a un generador, el cual transforma la energía mecánica del eje en energía eléctrica.

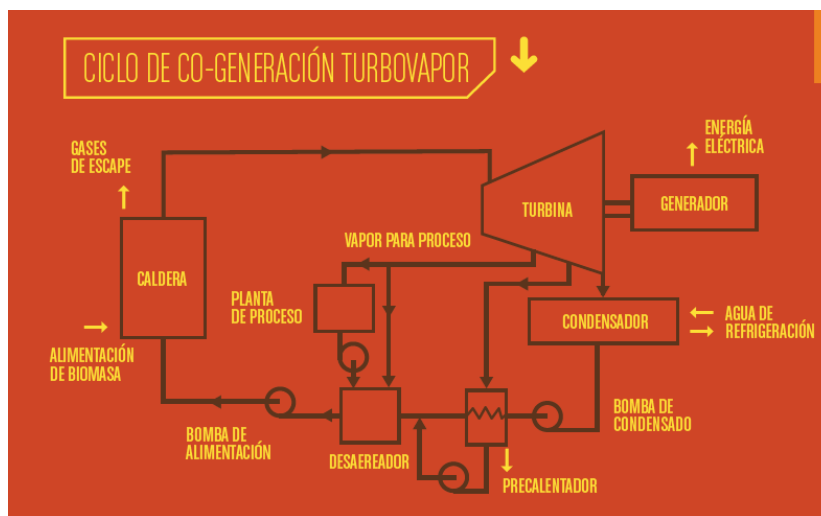


Figura 31. Ciclo de generación turbovapor - Central turbovapor (FAO, 2019)

Este tipo de instalación permite utilizar total o parcialmente el vapor en un proceso industrial, constituyendo un Ciclo de cogeneración de electricidad y vapor.

#### Sistemas de recuperación de calor

**Calderas:** Se utilizan en el secado de granos, madera y otros. Estos equipos están dotados de una cámara de combustión en su parte inferior, en el caso de las calderas a leña, en la que se quema el combustible. Los gases de la combustión pasan a través del



intercambiador de calor, transfiriéndolo al agua. La elección de la tecnología obedece al tipo del dendrocombustible disponible y de aspectos económicos.

El rendimiento de la instalación estará sujeto principalmente a las condiciones del vapor generado en la caldera. A mayor presión y temperatura mejores niveles de rendimiento.

**Hornos industriales:** Están ampliamente difundidos en todas las operaciones agroindustriales. Básicamente consisten en una cámara de combustión en la que se quema la biomasa, para usar el calor liberado en forma directa o indirecta en el secado de granos, madera o productos agrícolas.

En general, para seleccionar el equipo de combustión, generación de vapor y máquina motriz, se deben considerar los siguientes factores:

- **Confiabilidad:** Las posibilidades de falla de los equipos deben ser reducidas y su tecnología simple debe facilitar su reparación.
- **Adaptación a diferentes tipos de combustibles biomásicos,** incluyendo la posibilidad de co-combustión con derivados del petróleo.
- **Aptitud para la absorción de rápidas variaciones de carga,** frecuentes en las instalaciones aisladas.
- **Posibilidad de cogeneración (producción simultánea de vapor de proceso y electricidad),** que permite elevar el rendimiento global de la instalación.

### *Gasificación*

La gasificación es un proceso de combustión en defecto de oxígeno, donde un combustible sólido (biomasa) es oxidado parcialmente para producir un combustible gaseoso, que contiene entre otros componentes CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y vapor de agua. Las proporciones obtenidas dependen de la composición de la materia prima y las condiciones del proceso.

La temperatura de operación oscila entre 700 y 1500°C y el oxígeno se limita entre un 10-50% del teórico necesario para la combustión completa. (IDAE, 2007)

Cuando la biomasa se gasifica con aire se obtiene el denominado gas gasógeno o gas pobre, utilizado como combustible para obtener vapor y electricidad.

Cuando la biomasa se gasifica con oxígeno se obtiene el denominado gas de síntesis, transformable en combustible líquido (metanol y gasolinas), con un poder calorífico superior al del gas gasógeno, pero inferior al de los combustibles convencionales.

Una central de producción de electricidad con turbinas que se accionan con gas procedente de la biomasa es similar a una central de vapor convencional, excepto que, en vez de quemar el combustible para producir vapor y con él accionar las turbinas, éstas se accionan directamente con los gases calientes de la combustión de la biomasa.

Existen situaciones en las que se desea producir vapor y electricidad. Para estos propósitos, las turbinas son accionadas por una combinación de gases de combustión y vapores a alta presión, por lo que el sistema incorpora generadores de vapor.

### *Pirólisis*

El método consiste en la descomposición de la biomasa por la acción del calor (a una temperatura de 450°C aproximadamente) en ausencia de oxígeno. Los productos obtenidos pueden ser residuos sólidos carbonosos (carbón vegetal), líquidos hidrocarbonatados y gases compuestos por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos. Esto depende de las propiedades de la biomasa tratada, de la temperatura y presión de operación y de los tiempos de permanencia del material en la unidad de pirólisis.

Existen sofisticadas técnicas de pirólisis, como la denominada pirólisis súbita (Fast), que opera en tiempos cortos y a altas temperaturas (800°C-1.000°C). (FAO, 2019)

### *Licuefacción*

La licuefacción de biomasa se basa en hidrogenación indirecta. Las moléculas complejas de celulosa y lignina son rotas, el oxígeno es removido, y se adicionan átomos de hidrógeno. El producto de esa reacción química es una mezcla de hidrocarburos que al enfriarse se condensan en un líquido. En el proceso de licuefacción la biomasa se calienta con vapor y monóxido de carbono, o hidrógeno y monóxido de carbono, a temperaturas de 250 °C a 450 °C y presiones de alrededor de 27 MPa en la presencia de un catalizador. La biomasa no necesita ser seca como en la mayoría de los procesos de gasificación, dado que en el proceso se adiciona agua. La licuefacción de biomasa por hidrogenación se ha logrado a escala pequeña con residuos urbanos, varios residuos agrícolas, pecuarios y forestales, encontrándose el método todavía en etapa de desarrollo. (Moragues, J. et al., 2018)

### *Planta de tratamiento*

Al instalar una planta de tratamiento de biomasa, ya sea húmeda o seca, deben considerarse numerosos factores. La misma debe ubicarse en un lugar estratégico de acuerdo a la disponibilidad de suelo, cercano a las zonas de producción para disminuir los costos (principalmente de transporte), con servicios de electricidad, agua para refrigeración y gas, buena comunicación y acceso, entre otros. Se debe realizar un estudio de disponibilidad, alternativas de suministro, existencia de diferentes fuentes. Además, debe existir un tejido agrícola/forestal/empresarial susceptible de incorporarse al mercado de la biomasa.

Con respecto a los aspectos tecno-económicos, la elección de la tecnología debe ser consecuente con la disponibilidad de biomasa. Además, la rentabilidad del proyecto debe guardar relación con el riesgo del mismo y la tramitación del proyecto no debe alargarse en el tiempo. (ACCIONA Energía, 2019)

## **5.1.3 Procesos bioquímicos**

En los procesos bioquímicos, la biomasa húmeda se degrada por acción de enzimas provistas por microorganismos, contenidos en la biomasa o que se incorporan al proceso, resultando productos de alta densidad energética. Los dos procesos más utilizados son la digestión anaerobia y la fermentación alcohólica, mediante una digestión aerobia.

### *Digestión Anaerobia*

Proceso de descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno, mediante la acción de bacterias anaeróbicas. El producto resultante es el denominado biogás, que contiene,

fundamentalmente, un 50 a 70% de metano (CH<sub>4</sub>), 30 a 35% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 0.5 a 2% de Sulfuro de Hidrogeno y otros gases de menor influencia, junto con fango que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales presentes en la biomasa.

Aproximadamente, una tonelada de materia orgánica húmeda/ fresca degradada produce entre 20 y 250 m<sup>3</sup> de biogás (según las características del sustrato). Con 1 m<sup>3</sup> de biogás (55% de metano) el rendimiento calorífico esperado es entre 5000 y 5500 kcal. Consecuentemente, se pueden generar aproximadamente entre 5 y 6 kW ≈ 2,4 kW calor/térmicos + 2,4 kW eléctricos + 1,2 kW perdidos en los procesos.

Los materiales de la biomasa que alimentan el proceso preferentemente deben tener alto contenido de humedad, y suelen ser residuos ganaderos (estiércol de animales, restos de animales muertos, etc.) o residuos obtenidos en depuradoras de aguas residuales (lodos).

Durante la etapa de diseño de una planta de biodigestión anaeróbica, se deben tener en cuenta el Flujo de alimentación (si es continuo o en lotes hasta agotar la carga), el tipo y características del sustrato y composición y la disponibilidad de la biomasa (generación propia, provista por terceros o la combinación de ambas). Además, se debe considerar el sistema de agitación u homogeneización de la mezcla (que influye en la eficiencia de la planta y en los posibles inconvenientes operativos derivados de la sedimentación o flotación del sustrato), el sistema de calefacción o aislación (para controlar la temperatura y actividad biológica del proceso) y el destino o aplicación del biogás.

El biogás resultante del proceso de digestión anaeróbica se puede utilizar como fuente de calor, en la combustión en calderas de vapor para calefacción o como combustible de motores acoplados a generadores eléctricos. Además, el lodo obtenido puede utilizarse como fertilizante de suelos.

Las variables que afectan al proceso de fermentación microbológica son las siguientes:

- Temperatura: El óptimo de funcionamiento está alrededor de los 35 °C
- Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, con un óptimo de pH entre 6,6 y 7,6.
- Contenido en sólidos: se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que hace de la biomasa de alto contenido en humedad la más adecuada
- Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales
- Tóxicos: aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.

### Digestores

Los aparatos donde se lleva a cabo la digestión anaerobia se denominan digestores. Sus principales partes se pueden observar en la Figura 32, y constan de lo siguiente:

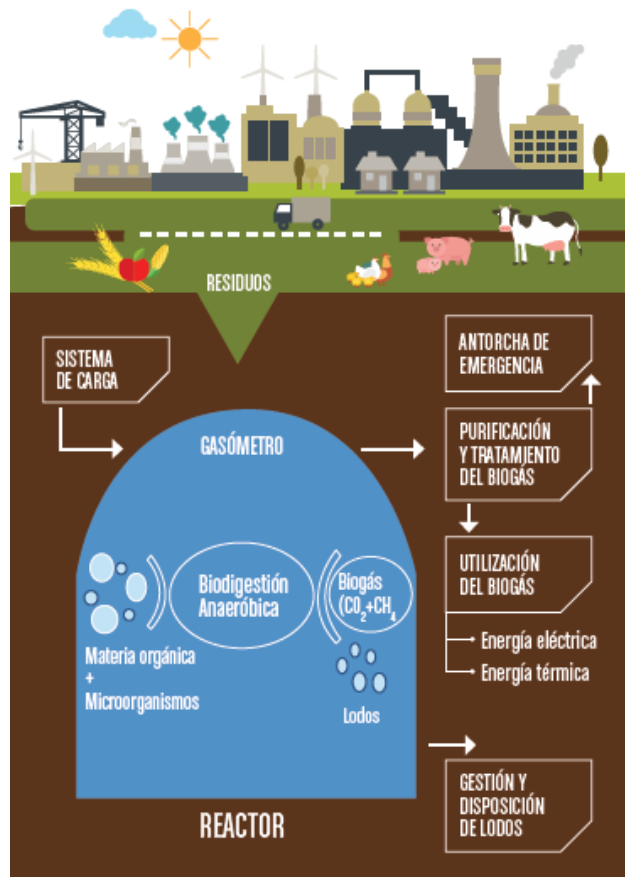


Figura 32. Componentes del biodigestor. (PROBIOMASA, 2014)

**Reactor:** Recinto en el cual ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica, en condiciones controladas. Su forma es variable (cilíndrica, cúbica, rectangular) y puede estar construido en diferentes materiales (concreto resistente a la acidez, geomembranas de polietileno de alta densidad, tanques de acero inoxidable). Su tamaño depende de la concentración de sólidos degradables, la velocidad de alimentación de sólidos y el tiempo de permanencia de los sólidos en el digestor.

Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, para impedir el escape de olores, conservar la temperatura y recoger el gas producido.

**Sistema de carga:** El ingreso del sustrato depende de la tecnología del biodigestor utilizado, tipo de sustrato y sus condiciones. En ciertos casos, los sistemas requieren de pretratamientos y acondicionamiento del sustrato.

**Puntos para toma de Muestra:** Se ubican uniformemente a lo largo del biodigestor, de modo de obtener muestras que sean representativas para realizar el control y seguimiento del proceso de biodigestión de los sustratos.

**Salida del biodigerido:** Las tuberías de extracción permiten que la mezcla estabilizada salga del digestor para ser tratada y utilizada de manera adecuada.

**Sistema de gas.** Se encarga de la colección, traslado y acondicionamiento del biogás hasta los puntos de consumo, los cuales pueden ser: generador de electricidad (motor de combustión interna o turbina), caldera para la producción de vapor u otras aplicaciones térmicas.

A su vez, hay distintos tipos de digestores. Los más utilizados son los de flujo pistón, reactor de mezcla completa, RAC y UASB. Además, hay reactores anaeróbicos con membrana, lechos fluidizados y expandidos, filtros anaeróbicos y reactores expandidos granulares.

**Flujo pistón:** Tal como se observa en la Figura 33, son reactores generalmente rectangulares o tubulares, con o sin agitación mecánica, describiendo un flujo símil-pistón con la circulación de los sustratos y la mezcla en digestión, que se sucede cuando es alimentado el digestor.



Figura 33. Flujo pistón (PROBIOMASA, 2014)

**Mezcla completa:** Son reactores cilíndricos, como se observa en la Figura 34, con sistemas de agitación mecánica (automatizados) o manual, que constan de una entrada por donde ingresa la materia orgánica, un soplador de aire, tuberías de termostatación para mantener el recinto en la temperatura adecuada, un motor y agitador para lograr una mezcla completa, una zona de descarga y una cúpula flotante que cierra herméticamente para evitar el ingreso de oxígeno, y acumula el biogás generado, que es controlado por un gasómetro. Este tipo de reactor es empleado mayormente para tratar sustratos con un porcentaje de sólidos del 3 al 20%.

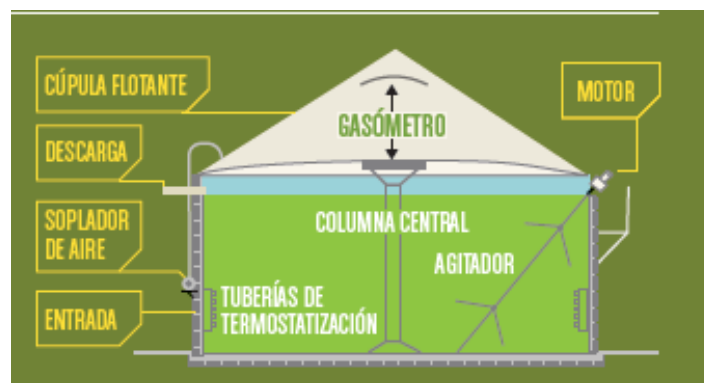


Figura 34. Reactor de mezcla completa (PROBIOMASA, 2014)

**RAC o reactores anaeróbicos de contacto:** Son instalaciones de grandes dimensiones para el procesamiento de caudales voluminosos de afluente con carga orgánica media. Consisten en piletas de sección escalonadas, recubiertas con geomembranas, que otorgan hermeticidad y flexibilidad al techo para la acumulación del gas. Los caños de alimentación direccionan internamente los flujos, para lograr mayor contacto del sustrato con los lodos que contienen las bacterias anaeróbicas. En la Figura 35 se observa un esquema de este tipo de reactor.

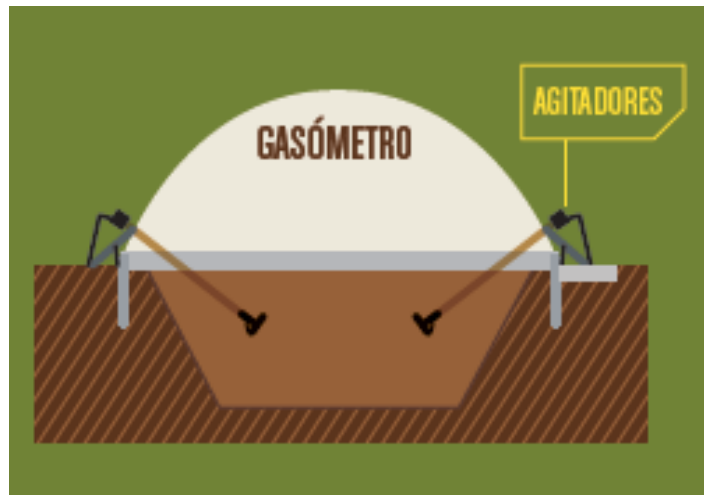


Figura 35. Reactor anaeróbico de contacto (PROBIOMASA, 2014)

UASB o Reactores de flujo ascendente y manto de lodos: Son los reactores de mayor desarrollo y complejidad tecnológica y operativa. Tal como se observa en la Figura 36, el sustrato ingresa y asciende a través de un manto de lodo granular suspendido, logrando un contacto total, lo que permite reducir las dimensiones de la instalación para procesar grandes caudales de alimentación. Luego, gracias a los deflectores del separador trifásico, se separa el biogás (que es descargado por la parte superior del reactor), el líquido (que sale por un conducto horizontal) y la parte sólida del sustrato que queda suspendida en el manto. Estas instalaciones cuentan con un alto grado de automatización y control para poder operar el proceso con la mayor eficiencia posible y son utilizados especialmente para sustratos con alto contenido de agua.

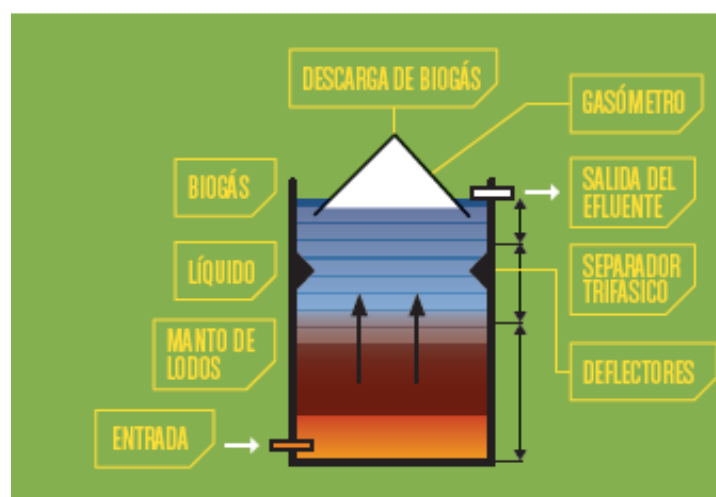


Figura 36. Reactor de flujo ascendente y manto de lodos (PROBIOMASA, 2014)

### Fermentación Alcohólica

La fermentación alcohólica es un proceso de reacciones biológicas, por la intervención de microorganismos, mediante el cual los azúcares (Hidratos de Carbono) que contienen las plantas (producto de la energía solar captada) son convertidos en alcoholes, principalmente Etanol.

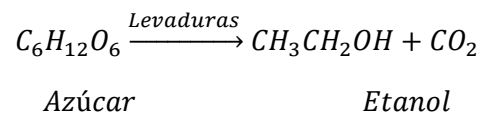
Asimismo, las plantas contienen almidones y celulosas (hidratos de carbono complejos), que pueden también transformarse en alcoholes, aunque mediante un proceso más complejo.

Se pueden definir tres tipos de materias primas para la producción de etanol:

- Materiales con azúcares solubles, con carbohidratos como fuente de azúcares (caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo dulce, etc)
- Almidones (maíz, sorgo grano, trigo, etc)
- Lignocelulosicos, cuyos carbohidratos se encuentran en formas más complejas (madera, residuos agrícolas, cultivos lignocelulósicos, etc). Requieren procesos de hidrólisis y fermentación que los hace más costosos económica y energéticamente.

Cada materia prima genera distintos rendimientos del etanol. La caña de azúcar genera 70 litros/Ton, el maíz 370 lin/Ton, y la madera 160 litros/Ton.

La reacción química que ocurre en el proceso de fermentación es la siguiente:



El etanol resultante del proceso de fermentación alcohólica puede ser utilizado como combustible.

### 5.1.4 Energía de los Residuos Sólidos Urbanos

#### *Recuperación energética: Incineración*

La energía de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) puede ser recuperada mediante la incineración. Dependiendo del tipo de instalación, los residuos pueden pasar a alimentar los hornos o pueden ser sometidos previamente a procesos de separación en distintos tipos de materiales, con el propósito de reciclar parte del material (si no han sufrido una selección en origen), o destinar la materia orgánica a la fabricación de fertilizantes.

En el horno, de los que existen varios tipos (parrillas, rotativos, lecho fluido), se lleva a cabo la combustión de los residuos, transmitiéndose el calor generado por los gases producidos a una caldera donde el agua que circula por sus tubos se convierte en vapor de agua.

La combustión, debido a la diversidad de materiales que componen el combustible (basura mezclada con arena, dolomita y calizas como neutralizantes), se lleva a cabo con exceso de aire para lograr la combustión completa.

El vapor puede emplearse para accionar una turbina de vapor, la cual mueve un generador eléctrico que se encuentra mecánicamente acoplado a la misma. Luego, el vapor, una vez cedida la presión a los álabes de la turbina, se condensa, bien en una torre de refrigeración o en un condensador refrigerado por aire.

Los gases producidos en la combustión de los residuos deben de ser tratados antes de ser expulsados a la atmósfera, a través de una chimenea. Estos tratamientos tienen como objetivo

depurar los gases mediante la eliminación de sus contaminantes, fundamentalmente las sustancias tóxicas (dioxinas y furanos). Los métodos típicamente empleados en el tratamiento de los gases son dos:

- Pulverización de reactivos semihúmedos (agua y cal) con filtrado de partículas y secado.
- Lavado y secado de gases.
- Los residuos recogidos de estos tratamientos pueden a su vez ser tratados.

#### *Vertederos de RSU*

Los vertederos son sitios diseñados y construidos para confinar residuos de manera controlada. Los residuos dispuestos son los Residuos Sólidos Urbanos y escorias y cenizas. En el sitio, se genera una descomposición anaeróbica obteniendo como producto Biogás. Aproximadamente, se obtienen 150-30 m<sup>3</sup> de biogás/ton de residuos.

La captura y el aprovechamiento del biogás generado en los vertederos de RSU implica una reducción en el metano que se emite al ambiente, por lo tanto, disminuye el Efecto Invernadero.

#### 5.2) Anexo II. Balances energéticos

A continuación, se detallan los balances energéticos realizados en el presente informe.



Localidad Camilo Aldao

Rendimiento anual de la plantación (kg/ha) **10733**

				Consumo por Kg de Maíz	Energía por Kg de Maíz			
COSTO ENERGÉTICO (inputs)	PRODUCCIÓN DE MAIZ	Semillas para la siembra (Pimentel and Pimentel, 1996)	(kg/ha)	20	(kg)	0,0019	4,28	
		Aplicación de Nitrógeno	(kg/ ha)	<b>206,22</b>	(kg)	0,0192	(Kcal)	282,45
		Maquinaria (Camiones y Tractores)	(kg/ha/año)	41,56	(kg)	0,0039	(Kcal)	69,70
		Gasolina (USDA, 2016)	(l/ha)	18,24	(l)	0,0017	(Kcal)	28,04
		Diesel (USDA, 2016)	(l/ha)	46,3	(l)	0,0043	(Kcal)	49,39
		Electricidad (USDA, 2016)	(kWh/ha)	53	(kWh)	0,0049	(Kcal)	4,25
		Fósforo	(kg/ha)	<b>37,50</b>	(kg)	0,0035	(Kcal)	10,48
		Potasio	(kg/ha)	<b>178,10</b>	(kg)	0,0166	(Kcal)	30,86
		Calcio	(kg/ha)	<b>28,12</b>	(kg)	0,0026	(Kcal)	0,77
		Insecticidas (Gracia, C., 2011)	(Kg/ha)	0,42	(kg)	0,0000	(Kcal)	3,35
		Herbicidas (Gracia, C., 2011)	(Kg/ha)	3,11	(kg)	0,0003	(Kcal)	32,18
		Riego	(mm/ha)	<b>0</b>	(mm)	0,0000	(Kcal)	0,00
		Transporte de materiales (semillas, fertilizantes, herbicidas, etc.)	(Kg/ha)	7063,49	(kg)	0,99	(Kcal)	21,83
	PRODUCCIÓN DE ETANOL	Destilerías con Molienda Seca				(Kcal)	1202,23	
		Destilerías con Molienda Húmeda				(Kcal)	1336,99	
Mini destilerías					(Kcal)	643,57		

ENERGIA TOTAL INSUMIDA POR KILO DE MAIZ		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>1739,81</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>1874,57</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>1181,15</b>

<b>GANANCIA ENERGÉTICA (outputs)</b>	<b>PRODUCCIÓN DE ETANOL</b>	Coproductos de Destilerías con Molienda Seca			(Kcal)	<b>343,77</b>			
		Coproductos de Destilerías con Molienda Húmeda			(Kcal)	<b>382,30</b>			
		Coproductos de Mini destilerías			<b>Producido por Kg de Maíz</b>	<b>Energía por Kg de Producto</b>			
		Limpieza	GRANOS PARTIDOS	(kg/día)	0	(kg)	0	(Kcal)	28,40
		Fermentación	CO2	(kg/día)	11191,9375	(kg)	0,276		
			CALOR	(Kcal/día)	3097039,9			(Kcal)	-
		Destilación	ALCOHOL ETÍLICO	(l/día)	15000	(l)	0,37	(Kcal)	2136,51
		Centrifugación	BURLANDA HUMEDA	(kg/día)	26324	(kg)	0,650	(Kcal)	204,23
	VINAZA LIVIANA	(kg/día)	103000	(kg)	2,543	(Kcal)	799,10		

**ENERGIA TOTAL PRODUCIDA POR KILO DE MAIZ CONSIDERANDO COPRODUCTOS**

Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>2480,28</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>2518,81</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>3168,24</b>

**ENERGIA TOTAL PRODUCIDA POR KILO DE MAIZ SIN CONSIDERAR COPRODUCTOS**

(Kcal) **2136,51**

**BALANCE ENERGÉTICO POR KILO DE MAIZ CONSIDERANDO COPRODUCTOS**

Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>740,47</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>644,24</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>1987,09</b>

<b>BALANCE ENERGÉTICO POR KILO DE MAIZ SIN CONSIDERAR COPRODUCTOS</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>396,70</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>261,94</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>955,36</b>
<b>RELACION INPUT/OUTPUT CON COPRODUCTOS</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>1,43</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>1,34</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>2,68</b>
<b>RELACION INPUT/OUTPUT SIN COPRODUCTOS</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>1,23</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>1,14</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>1,81</b>

Tabla 21. Balance energético de la localidad Camilo Aldao. (Fuente: Elaboración propia.)

**Localidad Monte Ralo**

Rendimiento anual de la plantación (kg/Ha) **5690**

				Consumo por	Energía por Kg de		
				Kg de Maíz	Maíz		
<b>COSTO ENERGÉTICO (inputs)</b>	<b>PRODUCCIÓN DE MAIZ</b>	Semillas para la siembra (Pimentel and Pimentel, 1996)	(kg/ha)	20	(kg)	0,0035	8,07
		Aplicación de Nitrógeno	(kg/ha)	<b>109,33</b>	(kg)	0,0192	(Kcal) 282,45
		Maquinaria (Camiones y Tractores)	(kg/ha/año)	41,56	(kg)	0,0073	(Kcal) 131,47
		Gasolina (USDA, 2016)	(l/ha)	18,24	(l)	0,0032	(Kcal) 52,89
		Diesel (USDA, 2016)	(l/ha)	46,3	(l)	0,0081	(Kcal) 93,17
		Electricidad (USDA, 2016)	(kWh/ha)	53	(kWh)	0,0093	(Kcal) 8,01
		Fósforo	(kg/ha)	<b>19,88</b>	(kg)	0,0035	(Kcal) 10,48
		Potasio	(kg/ha)	<b>94,42</b>	(kg)	0,0166	(Kcal) 30,86
		Calcio	(kg/ha)	<b>14,91</b>	(kg)	0,0026	(Kcal) 0,77
		Insecticidas (Gracia, C., 2011)	(Kg/ha)	0,42	(kg)	0,0001	(Kcal) 6,32
		Herbicidas (Gracia, C., 2011)	(Kg/ha)	3,11	(kg)	0,0005	(Kcal) 60,71
		Riego	(mm/ha)	<b>0</b>	(mm)	0,0000	(Kcal) 0,00
	Transporte de materiales (semillas, fertilizantes, herbicidas, etc.)	(Kg/ha)	7063,49	(kg)	0,99	(Kcal) 21,83	
	<b>PRODUCCIÓN DE ETANOL</b>	Destilerías con Molienda Seca				(Kcal) 1202,23	
Destilerías con Molienda Húmeda					(Kcal) 1336,99		
Mini destilerías					(Kcal) 643,57		

<b>ENERGIA TOTAL INSUMIDA POR KILO DE MAIZ</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>1909,27</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>2044,03</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>1350,60</b>

<b>GANANCIA ENERGÉTICA (outputs)</b>	<b>PRODUCCIÓN DE ETANOL</b>	Coprodutos de Destilerías con Molienda Seca				(Kcal)	<b>343,77</b>		
		Coprodutos de Destilerías con Molienda Húmeda				(Kcal)	<b>382,30</b>		
		Coprodutos de Mini destilerías				<b>Producido por Kg de Maíz</b>	<b>Energía por Kg de Producto</b>		
		Limpieza	GRANOS PARTIDOS	(kg/día)	0	(kg)	0	(Kcal)	28,40
		Fermentación	CO2	(kg/día)	11191,9375	(kg)	0,276		
			CALOR	(Kcal/día)	3097039,9			(Kcal)	-
		Destilación	ALCOHOL ETÍLICO	(l/día)	15000	(l)	0,37	(Kcal)	2136,51
		Centrifugación	BURLANDA HUMEDA	(kg/día)	26324	(kg)	0,650	(Kcal)	204,23
			VINAZA LIVIANA	(kg/día)	103000	(kg)	2,543	(Kcal)	799,10

**ENERGIA TOTAL PRODUCIDA POR KILO DE MAIZ CONSIDERANDO COPRODUCTOS**

Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>2480,28</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>2518,81</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>3168,24</b>

**ENERGIA TOTAL PRODUCIDA POR KILO DE MAIZ SIN CONSIDERAR COPRODUCTOS**

(Kcal) **2136,51**

<b>BALANCE ENERGÉTICO POR KILO DE MAIZ CONSIDERANDO COPRODUCTOS</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>571,01</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>474,78</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>1817,64</b>
<b>BALANCE ENERGÉTICO POR KILO DE MAIZ SIN CONSIDERAR COPRODUCTOS</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>227,24</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>92,48</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>785,91</b>
<b>RELACION INPUT/OUTPUT CON COPRODUCTOS</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>1,30</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>1,23</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>2,35</b>
<b>RELACION INPUT/OUTPUT SIN COPRODUCTOS</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>1,12</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>1,05</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>1,58</b>

Tabla 22. Balance energético de la localidad Monte Ralo. (Fuente: Elaboración propia.)

**Localidad Mina Clavero**

Rendimiento anual de la plantación (kg/Ha) **4900**

				Consumo por	Energía por		
				Kg de Maíz	Kg de Maíz		
<b>COSTO ENERGÉTICO (inputs)</b>	<b>PRODUCCIÓN DE MAIZ</b>	Semillas para la siembra (Pimentel and Pimentel, 1996)	(kg/ha)	20	(kg)	0,0041	9,37
		Aplicación de Nitrógeno	(kg/ha)	<b>94,15</b>	(kg)	0,0192	(Kcal) 282,45
		Maquinaria (Camiones y Tractores)	(kg/ha/año)	41,56	(kg)	0,0085	(Kcal) 152,67
		Gasolina (USDA, 2016)	(l/ha)	18,24	(l)	0,0037	(Kcal) 61,42
		Diesel (USDA, 2016)	(l/ha)	46,3	(l)	0,0094	(Kcal) 108,19
		Electricidad (USDA, 2016)	(kWh/ha)	53	(kWh)	0,0108	(Kcal) 9,31
		Fósforo	(kg/ha)	<b>17,12</b>	(kg)	0,0035	(Kcal) 10,48
		Potasio	(kg/ha)	<b>81,31</b>	(kg)	0,0166	(Kcal) 30,86
		Calcio	(kg/ha)	<b>12,84</b>	(kg)	0,0026	(Kcal) 0,77
		Insecticidas (Gracia, C., 2011)	(Kg/ha)	0,42	(kg)	0,0001	(Kcal) 7,34
		Herbicidas (Gracia, C., 2011)	(Kg/ha)	3,11	(kg)	0,0006	(Kcal) 70,50
		Riego	(mm/ha)	<b>0</b>	(mm)	0,0000	(Kcal) 0,00
	Transporte de materiales (semillas, fertilizantes, herbicidas, etc.)	(Kg/ha)	7063,49	(kg)	0,99	(Kcal) 21,83	
	<b>PRODUCCIÓN DE ETANOL</b>	Destilerías con Molienda Seca				(Kcal) 1202,23	
		Destilerías con Molienda Húmeda				(Kcal) 1336,99	
Mini destilerías					(Kcal) 643,57		

<b>ENERGIA TOTAL INSUMIDA POR KILO DE MAIZ</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>1967,41</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>2102,17</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>1408,75</b>

<b>GANANCIA ENERGÉTICA (outputs)</b>	<b>PRODUCCIÓN DE ETANOL</b>	Coprodutos de Destilerías con Molienda Seca				(Kcal)	<b>343,77</b>		
		Coprodutos de Destilerías con Molienda Húmeda				(Kcal)	<b>382,30</b>		
		Coprodutos de Mini destilerías				<b>Producido por Kg de Maíz</b>	<b>Energía por Kg de Producto</b>		
		Limpieza	GRANOS PARTIDOS	(kg/día)	0	(kg)	0	(Kcal)	28,40
		Fermentación	CO2	(kg/día)	11191,9375	(kg)	0,276		
			CALOR	(Kcal/día)	3097039,9			(Kcal)	-
		Destilación	ALCOHOL ETÍLICO	(l/día)	15000	(l)	0,37	(Kcal)	2136,51
		Centrifugación	BURLANDA HUMEDA	(kg/día)	26324	(kg)	0,650	(Kcal)	204,23
			VINAZA LIVIANA	(kg/día)	103000	(kg)	2,543	(Kcal)	799,10

**ENERGIA TOTAL PRODUCIDA POR KILO DE MAIZ CONSIDERANDO COPRODUCTOS**

Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>2480,28</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>2518,81</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>3168,24</b>

**ENERGIA TOTAL PRODUCIDA POR KILO DE MAIZ SIN CONSIDERAR COPRODUCTOS**

(Kcal) **2136,51**



<b>BALANCE ENERGÉTICO POR KILO DE MAIZ CONSIDERANDO COPRODUCTOS</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>512,87</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>416,64</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>1759,49</b>
<b>BALANCE ENERGÉTICO POR KILO DE MAIZ SIN CONSIDERAR COPRODUCTOS</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>169,10</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>34,34</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>727,76</b>
<b>RELACION INPUT/OUTPUT CON COPRODUCTOS</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>1,26</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>1,20</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>2,25</b>
<b>RELACION INPUT/OUTPUT SIN COPRODUCTOS</b>		
Destilerías con Molienda Seca	(Kcal)	<b>1,09</b>
Destilerías con Molienda Húmeda	(Kcal)	<b>1,02</b>
Mini destilerías	(Kcal)	<b>1,52</b>

Tabla 23. Balance energético de la localidad Monte Ralo. (Fuente: Elaboración propia.)

## 6) REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIONA Energía. (2019). Energía de la biomasa en España. Generación de electricidad por combustión de residuos agrícolas y forestales. España.

Batty JC, Keller J. (1980). Energy requirements for irrigation. In: Pimentel D (ed) CRC Handbook of energy utilization in agriculture. CRC Press, Boca Raton.

Bauza, R. (2012) Curso de nutrición animal, Tema 9: Bioenergética. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay.

BCCBA. (2019). Informe Agrícola Nro. 178: Con reglas claras, el maíz 19/20 marcaría un récord de superficie en Córdoba. Agosto 2019, Córdoba, Argentina.

Bonino, M., Schang, M., Azcona, J., Sceglío, O., Terzaghi, A., Pascual, G., Lago, C. (1991). Tablas de composición de ingredientes argentinos. *Balanceados Argentinos*, 63, 32-70

Brief, I., (2009). Net Energy Balance of Ethanol Production. Spring 2009. A Publication of Ethanol Across America

CAMMESA. (2018). Principales variables MEM, Resultados Esperados ANUAL 2018. Gerencia de Análisis y Control Global. Argentina.

Castella, A. y Zambonini I. (2017) Diseño de sistema energético para módulos de rescate habitacional. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata.

CEAS S.A. (2017) Estudio de Balance energético para mini destilerías.

Ciampitti A. et al. (S. f). Requerimientos nutricionales: Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. IPNI Cono Sur. Av. Santa Fe 910, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Doorenbos, J. y A.H. Kassam (1979) Yield response to water. *FAO irrigation and drainage*. Paper n° 33. Pag. 101-104.

Doorenbos, J. y W.O. Pruitt. (1977) Las necesidades de agua de los cultivos. Serie Riego y Drenaje. FAO N.º 24. Roma.

Erickson, G.E., Klopfenstein, T.J., Adams, D.C. & Rasby, R.J. (2005). General overview of feeding corn milling co-products to beef cattle. En: *Corn Processing Co-Products Manual*. University of Nebraska. Lincoln, NE, USA.

Escárcega Pliego, C. A. (S. f.) Biomasa como fuente de energía renovable. Introducción al aprovechamiento de fuentes renovables de energía.

Escobar Collao, H. (2006) Estimación del contenido de energía metabolizable en dietas para perros utilizando diferentes indicadores y metodologías experimentales. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Escuela de Ciencias Veterinarias. Santiago, Chile.

FAO. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y Drenaje. Roma.

- FAO. (2014). Terminología Unificada sobre Bioenergía. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.
- FAO. (2019). De la Biomasa a la Energía Renovable: Dendroenergía en Argentina. Núcleo de Capacitación en Políticas Públicas.
- Ferreira E., R. y G. Sellés (1997) Manejo del riego en condiciones de restricción hídrica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Centro Regional de Investigación La Platina (Santiago). Serie La Platina N.º 67, 38 pp.
- FIEL. (2002). Infraestructura y costos de logística en la Argentina. Documento de Trabajo N° 75 Marcela Cristini, Ramiro Moya y Guillermo Bermúdez. Buenos Aires.
- Fluck, R. C. (1992). Energy in Farm Production, Agriculture, Volume 6 (ed.), Elsevier.
- Fuentes Y. y García L, (1999). Técnicas de riego, Sistemas de riego en la agricultura. Grupo Mundi-Prensa, México.
- Fulginiti, F. (2018). Apuntes de clase de Ingeniería Ambiental II. FCEFYN. Universidad Nacional de Córdoba.
- Gómez Orea, D. (2014). Evaluación Ambiental Estratégica, un instrumento para integrar el medio ambiente en la formulación de políticas, planes y programas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. Cap. 1
- Gracia, C. (2011). Biocombustibles: ¿energía o alimento? Capítulo 4: Bioetanol.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2011). Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. Michael Melford/National Geographic Stock.
- Guzmán Casado, G. y Gonzalez de Molina, M. (2017) Energy in agroecosystems. A tool for assessing sustainability. New York, Taylor & Francis. Series: Advances in agroecology.
- Hohmann, Neil, y C. Matthew Rendleman. (1993). "Emerging Technologies in Ethanol Production. AIB-663. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- IDEA. (2007). Biomasa: Gasificación. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, España.
- IEA. (2011). Contribución de la bioenergía a nivel mundial. Agencia internacional de Energía.
- INTA. (2011). Siembra Directa. Actualización Técnica N.º 58.
- INTA. (2015). Avances en la valorización nutricional del maíz y la soja. INTA – EEA Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- IPCC. (2015). Cambio Climático: Mitigación. Guía resumida del Quinto Informe de evaluación del IPCC. Grupo de Trabajo III. Madrid. España.
- IPCS, CE (2005). Fichas Internacionales de Seguridad Química: Etanol (Anhidro). Preparada en el contexto de Cooperación entre IPCS y la Comisión Europea.

- Kanwarpal S. Dhugga. (2006). Maize Biomass Yield and Composition for Biofuels. Article in Crop Science.
- MAIZAR. (2013) La cadena del maíz y las oportunidades para desarrollo en la Argentina. Consultoría elaborada por encargo del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Buenos Aires, junio 2013.
- Martínez, J. (2016) Estudio del interés agronómico de los cereales para la obtención de biocombustibles. Universidad Politécnica de Valencia.
- Martínez M. (2015). Valoración energética de alimentos. Nutrición y alimentación animal, Departamento de producción animal. Universidad de Córdoba. España.
- Méndez Casariego, H. et al. (2014). Ordenamiento Territorial en el Municipio: una guía metodológica. FAO. Santiago, Chile. 72 pp.
- Moragues, J. et al. (2018). Energía de la biomasa. Nuevas fuentes, energías renovables. IAE
- Noblet, J., y Perez J. M. (1993). Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pigs diets from chemical analysis. J. Anim.
- NRC (National Research Council). (1996). Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7 a. Revised Ed. Ed. National Academy Press. Washington D.C. USA.
- Pasinato, A. (2017). Uso de subproductos del destilado de granos en bovinos para carne. EEA Concepción del Uruguay.
- Patzek, T. W. (2006). Letter. Science 312: 1747.
- Pimentel, D., and Pimentel, M. (1996). Food, Energy and Society. Colorado Univ. Press, Boulder, CO.
- Pimentel, D. (2003). Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts Are Negative. Natural Resources Research.
- Posada H, J. (2012). Efecto de la cantidad de carga en el consumo de combustible en camiones. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas.
- PROBIOMASA. (2014). Biodigestores: Transformar la biomasa en biogás. Hoja Técnica 06. Proyecto FAO para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Ministerio de Energía y Minería, Ministerio de Agroindustria, Presidencia de la Nación.
- Ramos, F et al. (2016). Biocombustibles. CONICET digital, Vol. 25, numero 147. Universidad Nacional del Sur-Conicet.
- Riquier, J., D. Bramao, y J. Cornet. (1970) A new systems of the Pampas. In: E. Satorre and G. Slafer, editors, Wheat: Ecology and physiology of yield determination. Hayworyh Press, Binghamton, NY.
- Sacchi, G et al. (2018). Guía de trabajos prácticos de Pedología y Cartografía de Suelos. Escuela de Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Schang, M., Azcona, J., Sceglío, O., Borrás, F., Rodríguez, S., Yanigro, S. (1999). Tabla de composición de ingredientes argentinos. Jornadas de Nutrición y Genética de Aves de Producción. Buenos Aires.: Fac. de Cs. Veterinarias, UBA.

Searchinger, T., et al. Brown, L. (2008). Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. Science, 2008.

Secretaría de Recursos Hídricos (2011) Riego en la Provincia de Córdoba. Dirección General de Irrigación. Secretaría de Rec. Hídricos, Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos. Gobierno de Córdoba.

Shapouri, H., Duffield, J., Wang M. (2002). The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update U. S. Department of Agriculture, Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and New Uses. Agricultural Economic. Report No. 813.

Shields, R. G., Kigin, P. D., Izquierdo, J. A. (1994). Counting calories: caloric claims-measuring digestibility and metabolizable energy. Pet Food Ind, 4-10, enero 1994.

Sibbald, I.R. (1976). A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. Poultry Science, 55, 303-308

UBA, FCE. (2019). "Índice Provincial de Atractivo Renovable" Universidad de Buenos Aires, Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética, Secretaría de Energía, Ministerio de Hacienda Presidencia de la Nación Buenos Aires, Argentina. Edición 1.

Uri, Noel D. y K. Day. (1991). Energy Efficiency, Technological Change and the Dieselization of Agriculture in the United States. Transportation Planning and Technology 16, 221-231.

USDA. (2002). The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update. Por Hosein Shapouri, James A. Duffield, y Michael Wang. U.S. Department of Agriculture, Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and New Uses. Agricultural Economic. Report No. 813.

USDA. (2016). Energy Balance for the Corn-Ethanol Industry. United States Department of Agriculture. February 2016.

## 7) REFERENCIAS WEB

Gobierno de la Provincia de Córdoba. Más pymes cordobesas podrán invertir en eficiencia energética. Consultado el día 21 de noviembre de 2019. Disponible en <https://prensa.cba.gov.ar/energia-renovable/mas-pymes-cordobesas-podran-invertir-en-eficiencia-energetica/>

IDECOR. Cartas de Suelo de la Provincia de Córdoba. Consultado el día 15 de octubre de 2019. Disponible en internet en: <https://www.mapascordoba.gob.ar/>

IDECOR. Qué es. Consultado en diciembre de 2019 en: <https://idecor.cba.gov.ar/que-es/>

IGN. Información geoespacial. Consultado el día 15 de julio de 2019. Disponible en Internet en <http://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/Introduccion>

IPNI. Fuentes de nutrientes específicos. Consultado el día 8 de enero de 2020. Disponible en Internet en <http://www.ipni.net/specifics-es>

Khan Academy. Introducción a la fotosíntesis. Consultado el día 20 de noviembre de 2019. Disponible en Internet en <https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/introduction-to-stages-of-photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis>.

Leisa, El uso de la energía en la agricultura, una visión general. Consultado el día 10 de enero de 2020. Disponible en <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-21-numero-1/2055-el-uso-de-la-energia-en-la-agricultura-una-vision-general>

Minidest, en tu campo, tu industria. Consultado el día 8 de enero de 2020. Disponible en <http://www.minidest.com.ar/>

Rural y tierras, densidad de siembra del maíz. Consultado el día 6 de enero de 2020 en: <https://www.ruralytierras.gob.bo/compendio2012/files/assets/downloads/page0090.pdf>.

Secretaría de Ambiente y Cambio Climático. Ordenamiento Ambiental del territorio. Consultado el día 30 de julio de 2019. Disponible en Internet en <https://secretariadeambienteycambioclimatico.cba.gov.ar/ordenamiento-ambiental-del-territorio/>

Sitio Argentino de Producción animal. Ganadería de Precisión: Uso de subproductos de la agroindustria. Consultado el día 6 de enero de 2020. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/tablas\\_composicion\\_alimentos/112-Uso\\_subproductos\\_agroindustria.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/112-Uso_subproductos_agroindustria.pdf)