



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tasas biofísicas de retorno
energético en el uso de
biocombustibles para el
Ecuador

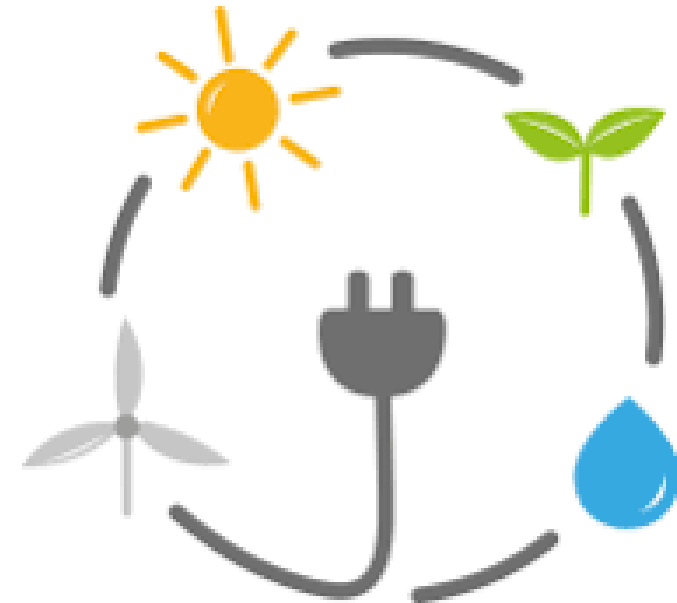


RESUMEN

Determinación del Retorno de la inversión en energía (EROI) para bioetanol y biodiesel.

Materias primas: se consideró su capacidad productiva, registros de exportación e importación y rendimientos históricos. Se incluyó, para etanol (caña de azúcar, maíz y residuos forestales) y para biodiesel (palma africana, piñón, grasa bovina y grasa porcina).

Metodología: Análisis de Ciclo de Vida (LCA): evaluación de la cadena productiva a través del procesamiento estadístico de información. Determinación experimental de los valores caloríficos en el laboratorio.



CONTEXTO



- La Ley Orgánica de Eficiencia Energética fue publicada en el Suplemento del Registro Oficial No. 449 de fecha 19 de marzo de 2019.
- El PLANEE, incluirá las políticas para el fomento de la producción y consumo de biocombustibles a nivel nacional...



CONTEXTO

- En Ecuador, la incorporación de biocombustibles a la matriz energética tiene dos objetivos principales. Por un lado, busca reducir el impacto ambiental de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante el uso de biomasa, cuyo carbono proviene de la fotosíntesis. Por otro lado, busca desplazar las importaciones de combustibles derivados del petróleo, principalmente gasolinas y diésel, al tiempo que incentiva la producción agrícola nacional.
-



La situación de los biocombustibles en Ecuador

- Ecuador comenzó a producir biodiesel a partir de palma africana en 2005, y hasta 2012 toda la producción fue para exportación.
- Para el etanol anhidro, la producción comenzó en 2012 con gasolina Ecopaís, que debía contener hasta un 10% de bioetanol anhidro.
- EP Petroecuador y la Asociación de Biocombustibles del Ecuador (APALE) suscribieron un nuevo contrato para la provisión de 113'575.238 de litros de etanol



Potencial bioenergético

- Se muestra la distribución geográfica del potencial energético de la caña de azúcar a la izquierda (15 740 TJ) y la palma africana a la derecha (87 830 TJ) (INEC, 2017).



LCA y EROI

Tasa de Retorno
Energético
(TRE)

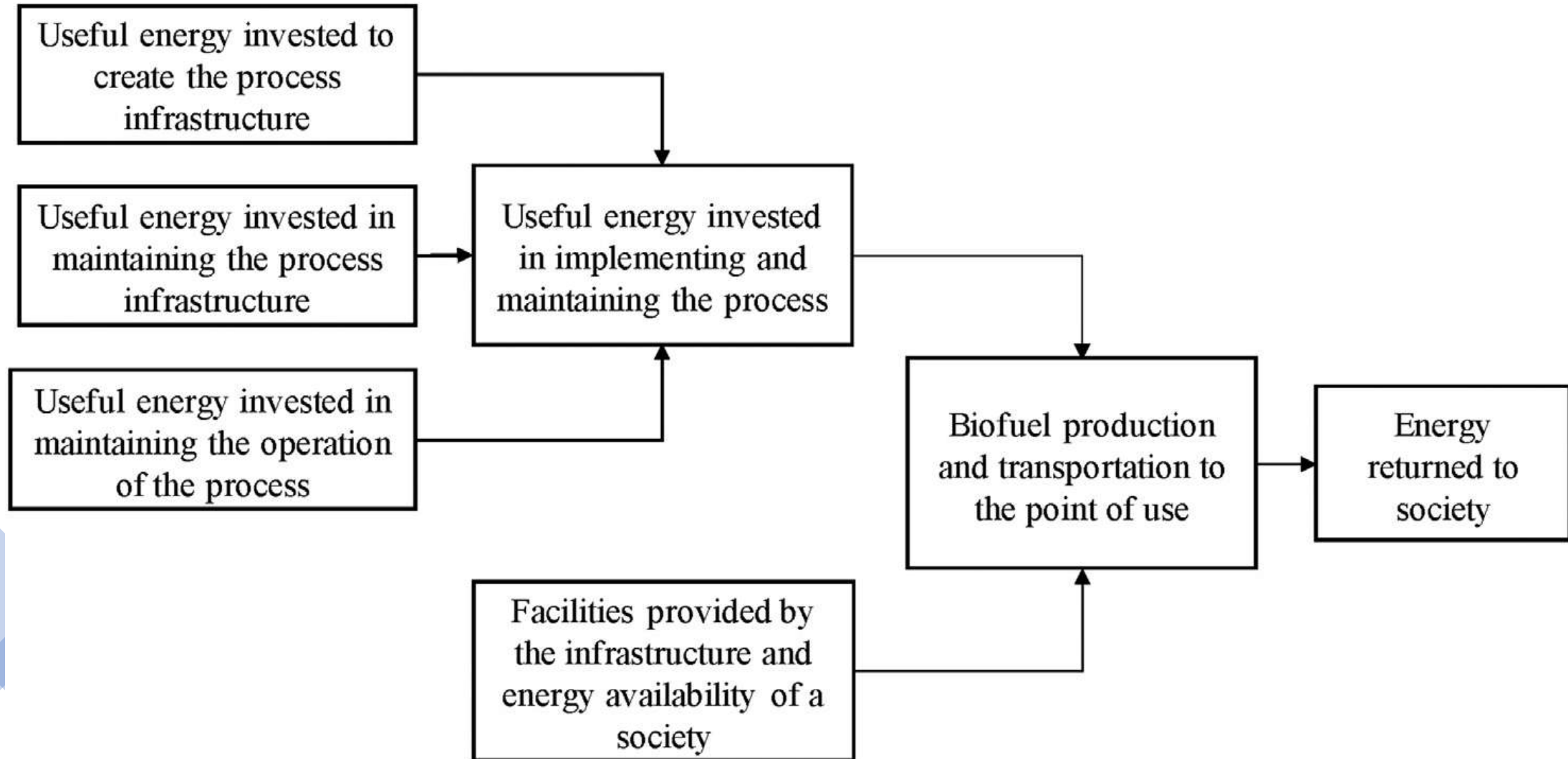
Análisis del
Ciclo de Vida
(ACV)

$$\text{ROI} = \frac{\text{BENEFICIO} - \text{INVERSIÓN}}{\text{INVERSIÓN}}$$

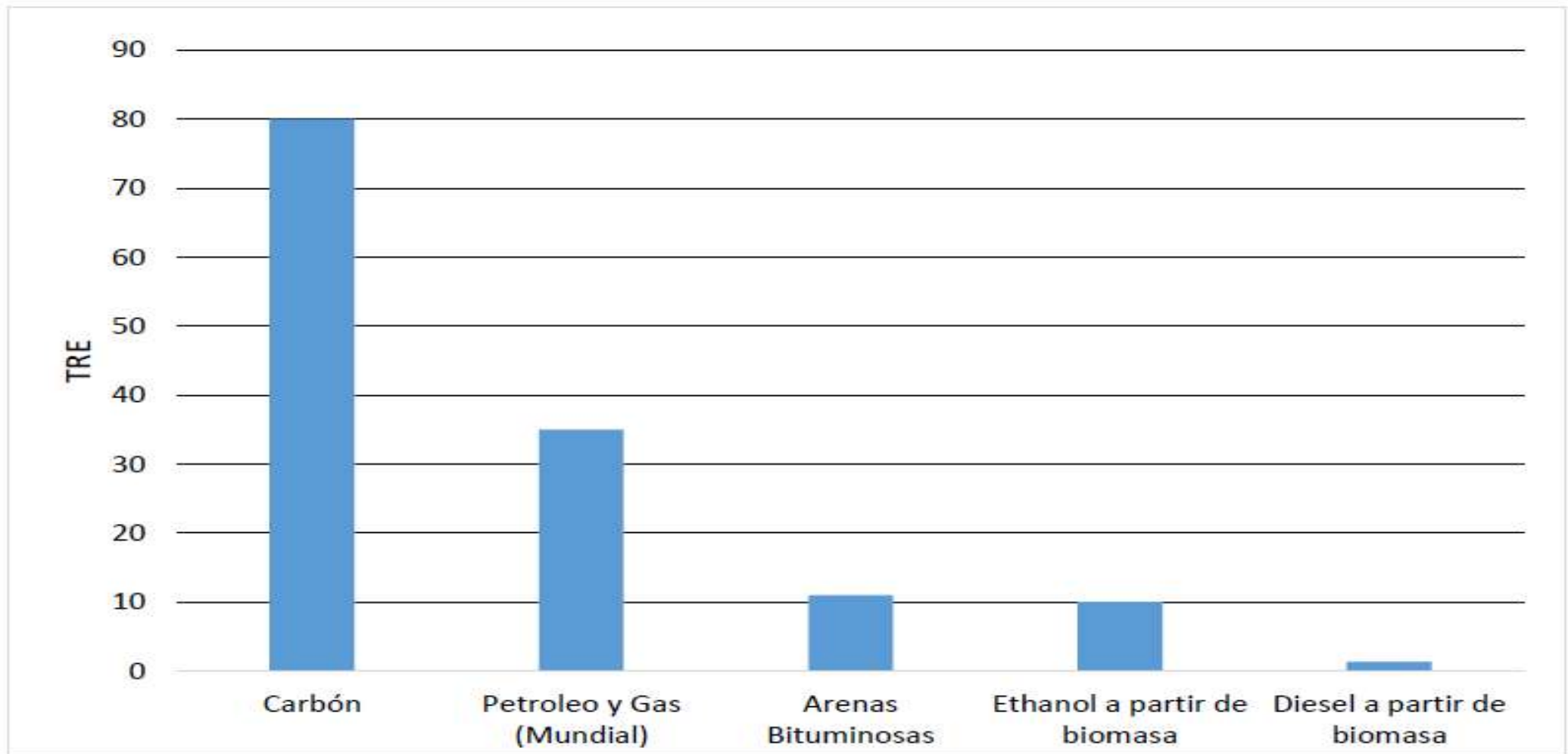
RETURN ON INVESTMENT



EROI



EROI para diferentes combustibles a nivel mundial



Fuente: Hall, et al 2016

MATERIAS PRIMAS POTENCIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN EL ECUADOR



Caña de azúcar



Maíz duro

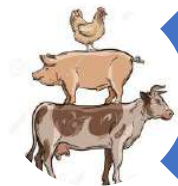


Madera

BIOETANOL



Palma Africana



Grasa Animal

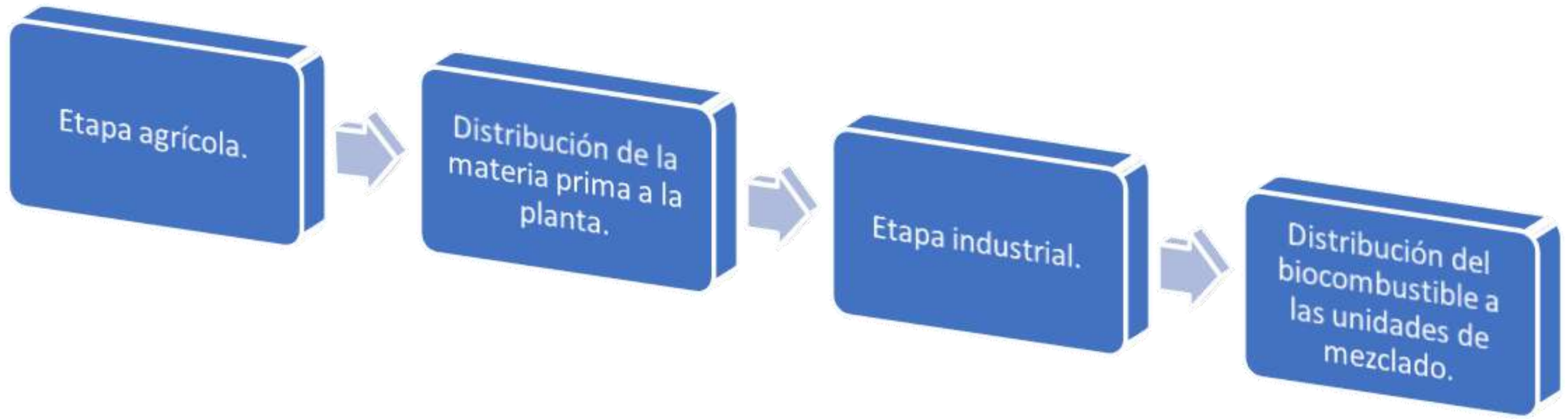


Piñón

BIODIESEL

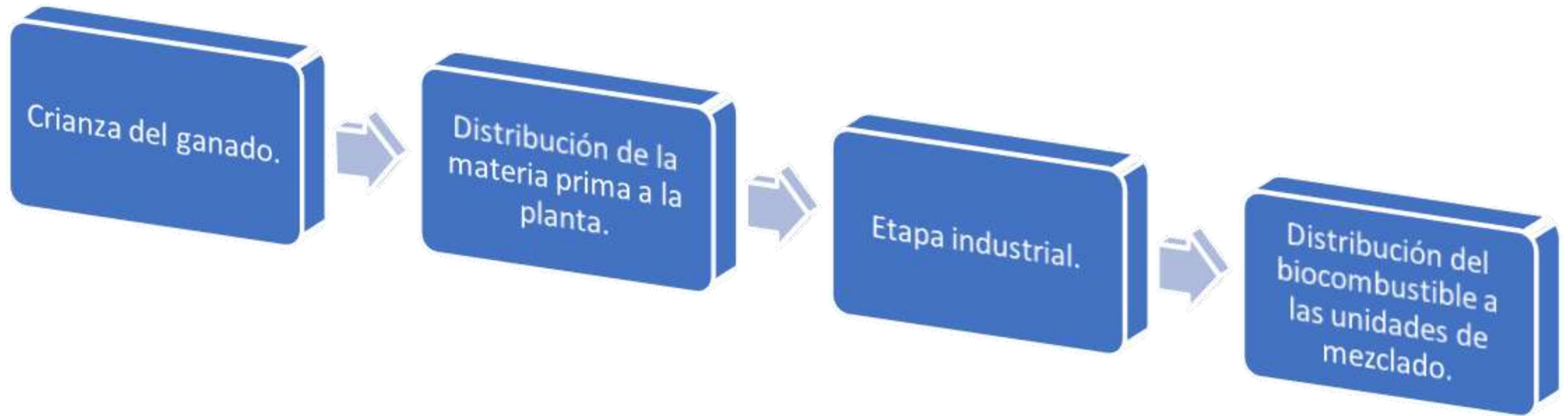
Análisis del ciclo de vida de biocombustibles

- Actividades que se consideraron en los *cultivos* para la recolección de datos en cada etapa.



Análisis del ciclo de vida de biocombustibles

- Actividades que se consideraron en la *grasa animal* para la recolección de datos en cada etapa.



Procesos de producción de bioetanol

Líneas de proceso recomendadas para la producción de bioetanol para cada materia prima.

Materia Prima	Línea de proceso seleccionada.
Melaza	Dilución + fermentación simple + destilación y tamices moleculares.
Maíz	Molienda en seco + SSF con amilasas + destilación y tamices moleculares.
Biomasa lignocelulósica	Explosión a vapor + SSF con amilasas + destilación y tamices moleculares.

Procesos de producción de biodiesel

Líneas de proceso recomendadas para la producción de biodiesel para cada materia prima.

Materia Prima	Línea de proceso seleccionada.
Aceite de palma	Filtración + neutralización + lavado y secado + transesterificación alcalina + decantación + refinación del biodiesel.
Grasa animal	Derretido con vapor + clarificación + filtración + transesterificación alcalina + decantación + refinación del biodiesel.
Aceite de piñón	Filtración + neutralización + lavado y secado + transesterificación alcalina + extracción líquido - líquido + refinación del biodiesel.

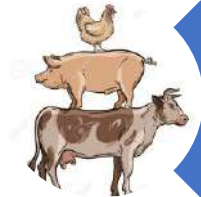
Recolección de muestras de biocombustibles



Bioetanol de caña de azúcar
(Empresa Destilera – Guayas)



Biodiésel de palma africana (La Fabril)



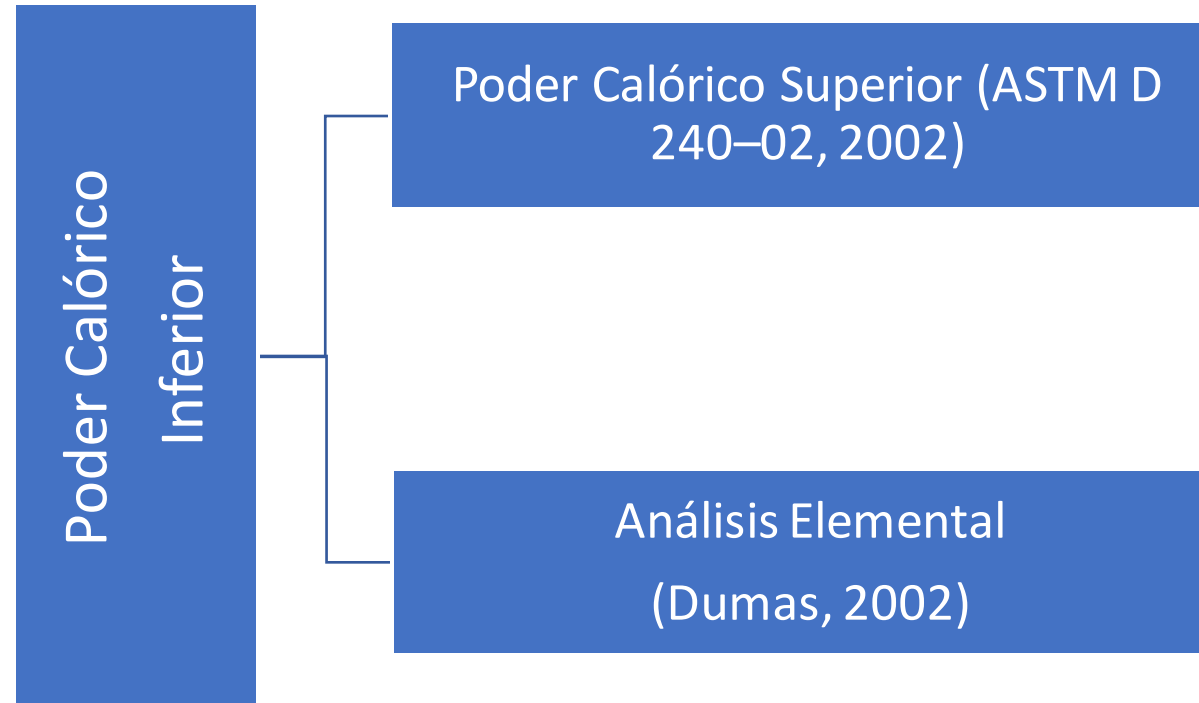
Biodiésel de grasa animal (Productor Nacional)



Biodiésel de Piñón (INER)



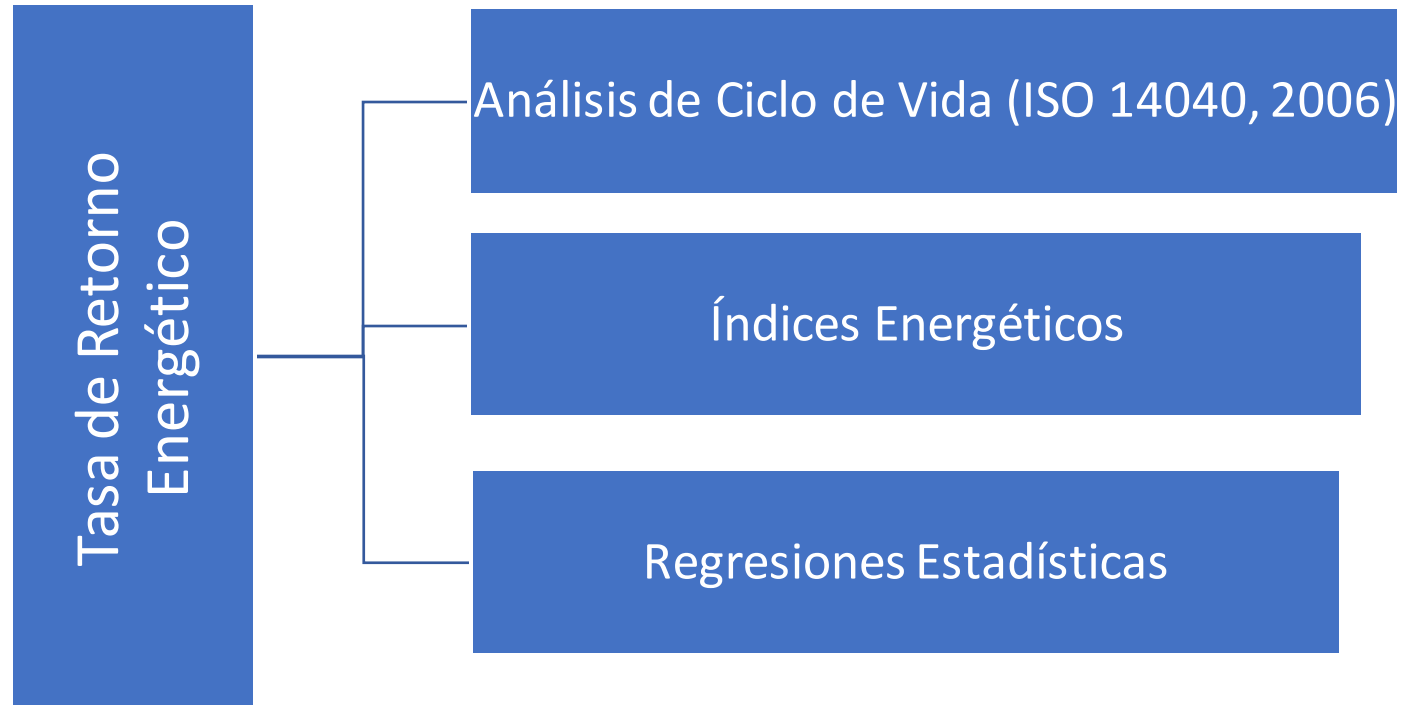
METODOLOGÍA



$$Q_n (\text{net}, 25\text{ }^{\circ}\text{C}) = Q_g (\text{gross}, 25\text{ }^{\circ}\text{C}) - 0,2122 \times H \quad (\text{ASTM D 240-02, 2002})$$



METODOLOGÍA





CAÑA DE AZÚCAR

- **Etapa agrícola**
 - Cuantificación de insumos para una ha de cultivo.
 - Utilización de equivalencias energéticas en [MJ/ha].
 - Rendimiento [l biocombustible/Ton producto].
 - Conversión de unidades a [MJ/kg biocombustible].

A background image showing several vertical sugar cane stalks. The stalks are in various stages of processing, with some appearing raw and greenish, and others being bleached white or dyed in shades of blue and yellow. The stalks are bundled together, showing their segmented structure.

CAÑA DE AZÚCAR

- **Etapa de distribución**
 - Transporte desde los cultivos y centros de acopio a la planta industrial.
 - Transporte desde la planta industrial hacia las instalaciones de mezclado con gasolina.
- **Etapa industrial [MJ/kg bioetanol]**
 - Información primaria.
 - Cuantificación energética para la obtención de melaza.
 - Cuantificación energética para la transformación de melaza a bioetanol.



MAÍZ-MADERA-PALMA-PIÑÓN

- **Etapas agrícolas**
 - Cuantificación de insumos para una Ha de cultivo.
 - Utilización de equivalencias energéticas en [MJ/Ha].
 - Modelos de regresión estadística [l biocombustible/T producto].
 - Conversión de unidades a [MJ/kg biocombustible].

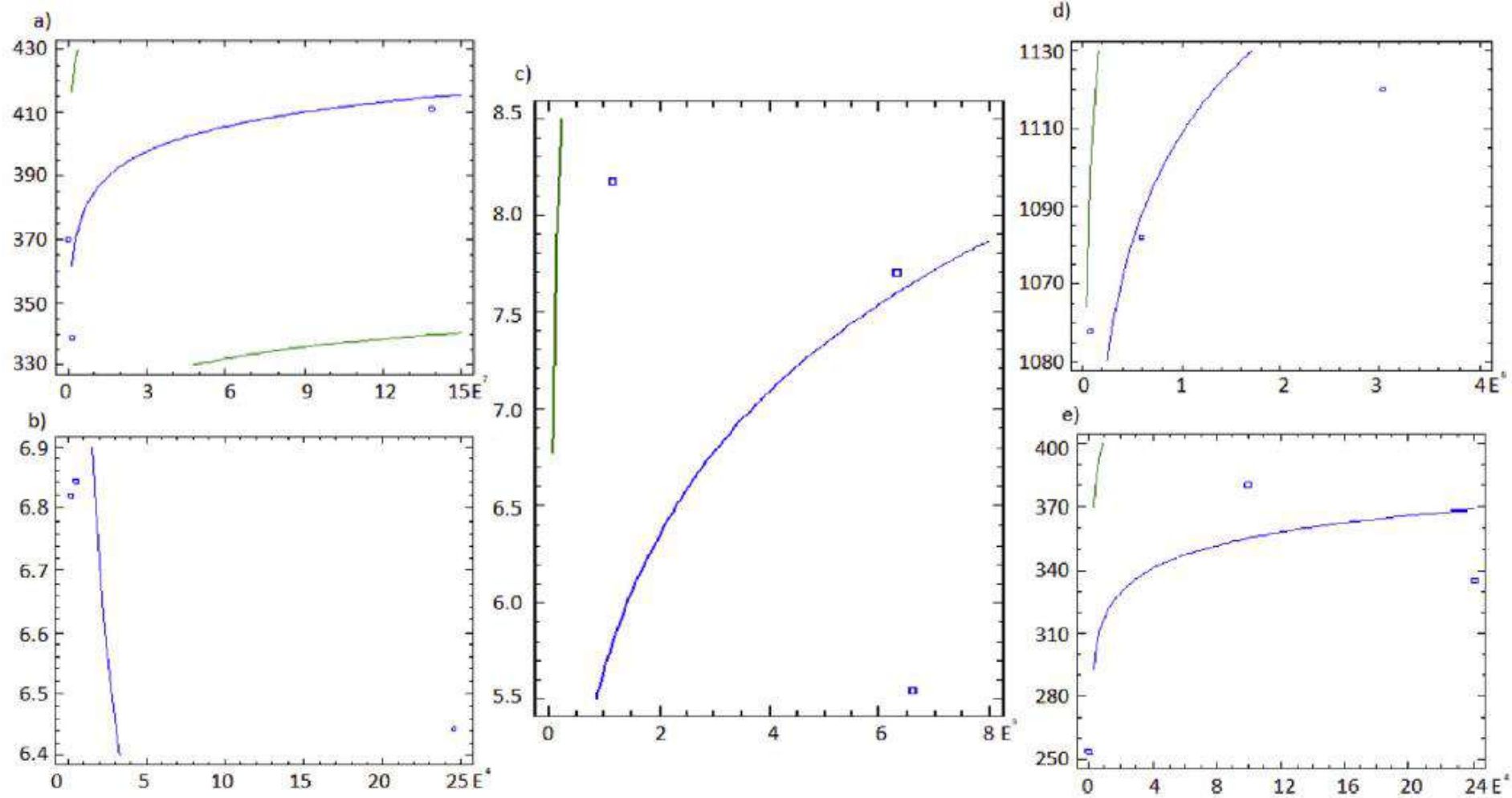
MAÍZ-MADERA-PALMA-PIÑÓN

Materia prima y rendimientos industriales para cada país – maíz duro.

X (Materia prima para etanol [T])		Y (Rendimiento [l bioetanol/ T maíz])
Argentina	1 400 000,000	338,98
E.E.U.U.	138 400 000,000	411,28
Chile	283 497,300	370,00

Materia prima para cada escenario planteado – maíz duro.

X (Materia prima para etanol [T])	
Ecuador 10%	143 610,600
Ecuador 20%	287 221,200
Ecuador 30%	430 831,800
Ecuador 50%	718 053,000



Modelos ajustados para rendimientos (Y) en litros de biocombustible, en función de la materia prima (F) en toneladas de materia prima:

- a) maíz $Y = \sqrt{9186,16 \ln F}$ b);
- b) piñón $Y = 1 / (0,0015013 \ln F)$;
- c) grasa $Y = (0,206369 \ln F)^2$;
- d) Palma africana $Y = \sqrt{0,88976,20 \ln F}$;
- e) madera $Y = \sqrt{0,10981,20 \ln F}$.

$$\text{Rendimiento} = (9186,16 \times \ln(\text{Materia Prima}))^{1/2}$$

Resultados del rendimiento - maíz duro.

	Materia Prima (T maíz duro)	Rendimiento [l etanol/ T maíz duro]
E1	143 610,60	330,28
E2	287 221,20	339,78
E3	430 831,80	345,23
E4	718 053,00	351,95

Coeficiente de Correlación	0,994184
Valor-p (ANOVA y prueba T)	0,0058

Crianza del ganado

- Metodología National Research Council (NRC)- *Energía Neta*. [MJ]
- Modelos de regresión simple [l biodiesel/T grasa].
- Cuantificación de cantidad de grasa que tiene un cerdo y vaca.
- Cuantificación del número de vacas y cerdos [MJ/ kg biodiesel]

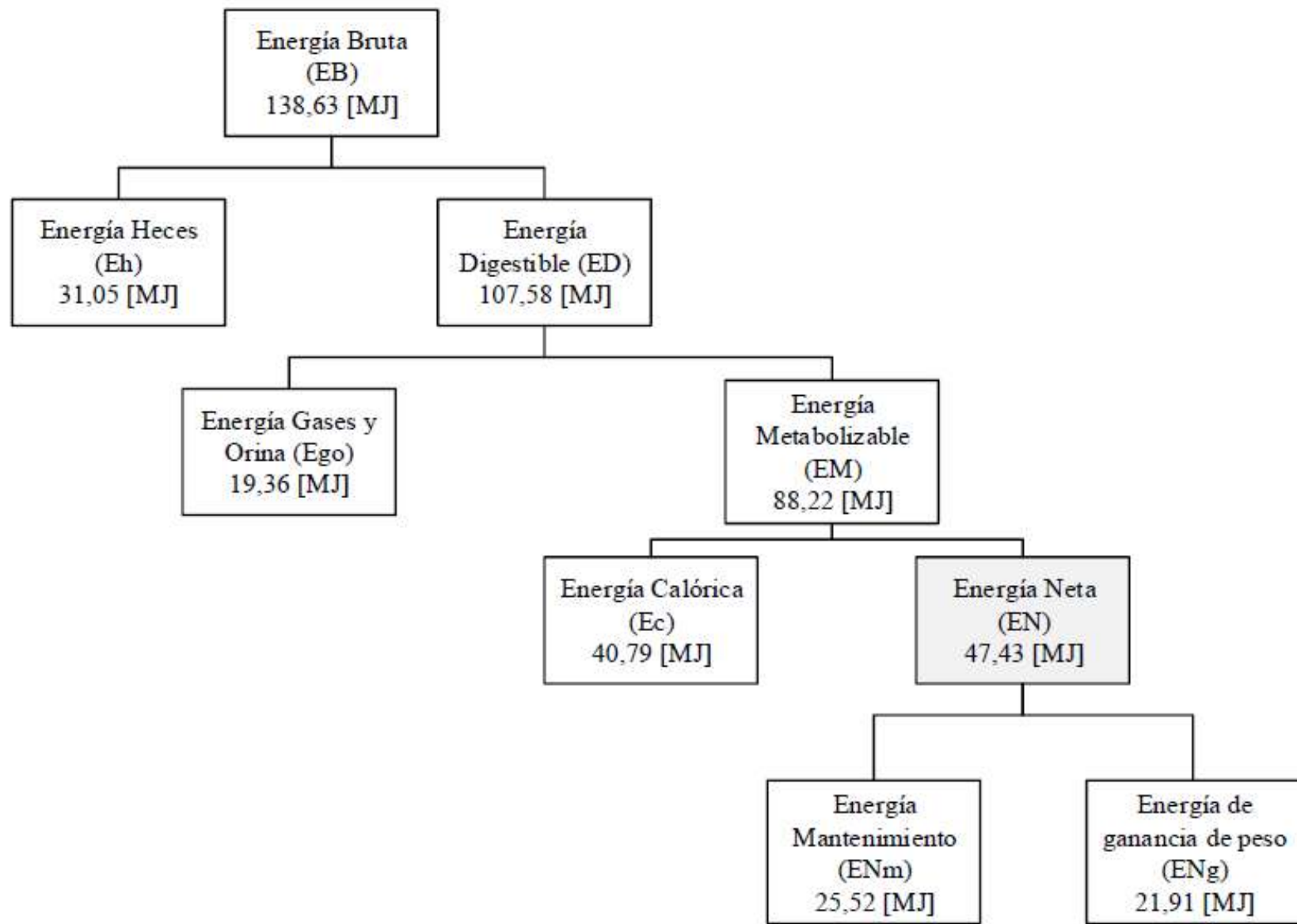


Fig. Esquema de partición convencional de la energía consumida por la vaca.

MAÍZ-MADERA-PALMA-PIÑÓN – GRASA ANIMAL



Etapas Industrial

- Modelo estadístico que utiliza datos de los requerimientos energéticos de plantas en operación que utilizan el mismo proceso propuesto y datos de la materia prima destinada en cada país.
- Se consideran cuatro escenarios (E1, E2, E3, E4) para el cálculo del balance energético.

$$\text{Req. Industria} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kgetanol}} \right) = 1 / (5,3 \times 10 - 3 \times \ln(\text{Materia Prima}))$$

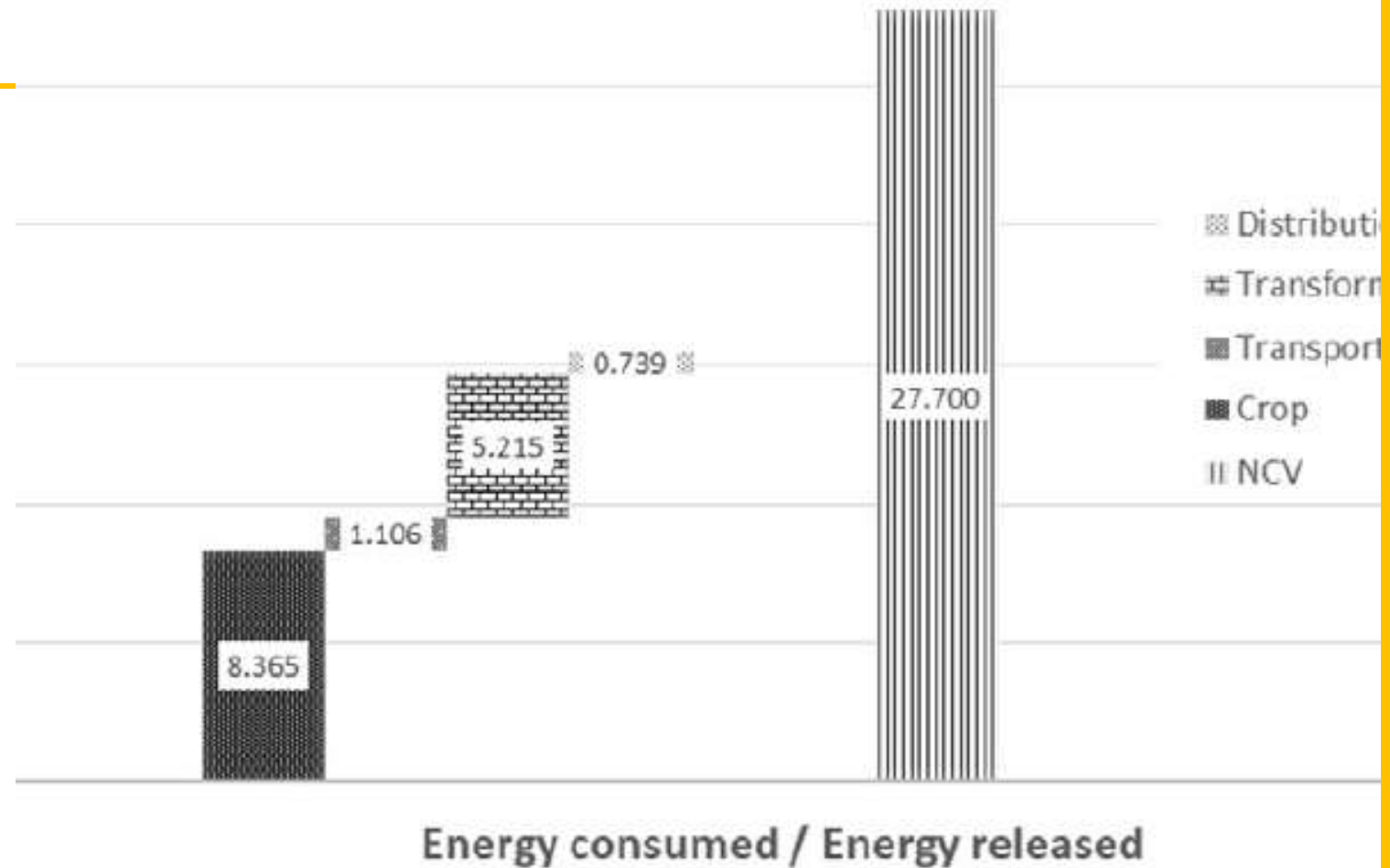
Etapa de distribución

- Transporte desde los cultivos y centros de acopio a la planta industrial.
- Transporte desde la planta industrial hacia las instalaciones de mezclado.
- Considerar distancias, rendimiento del combustible, tipo de camión, características del combustible, número de viajes, número de vehículos, cantidad de producto a transportar

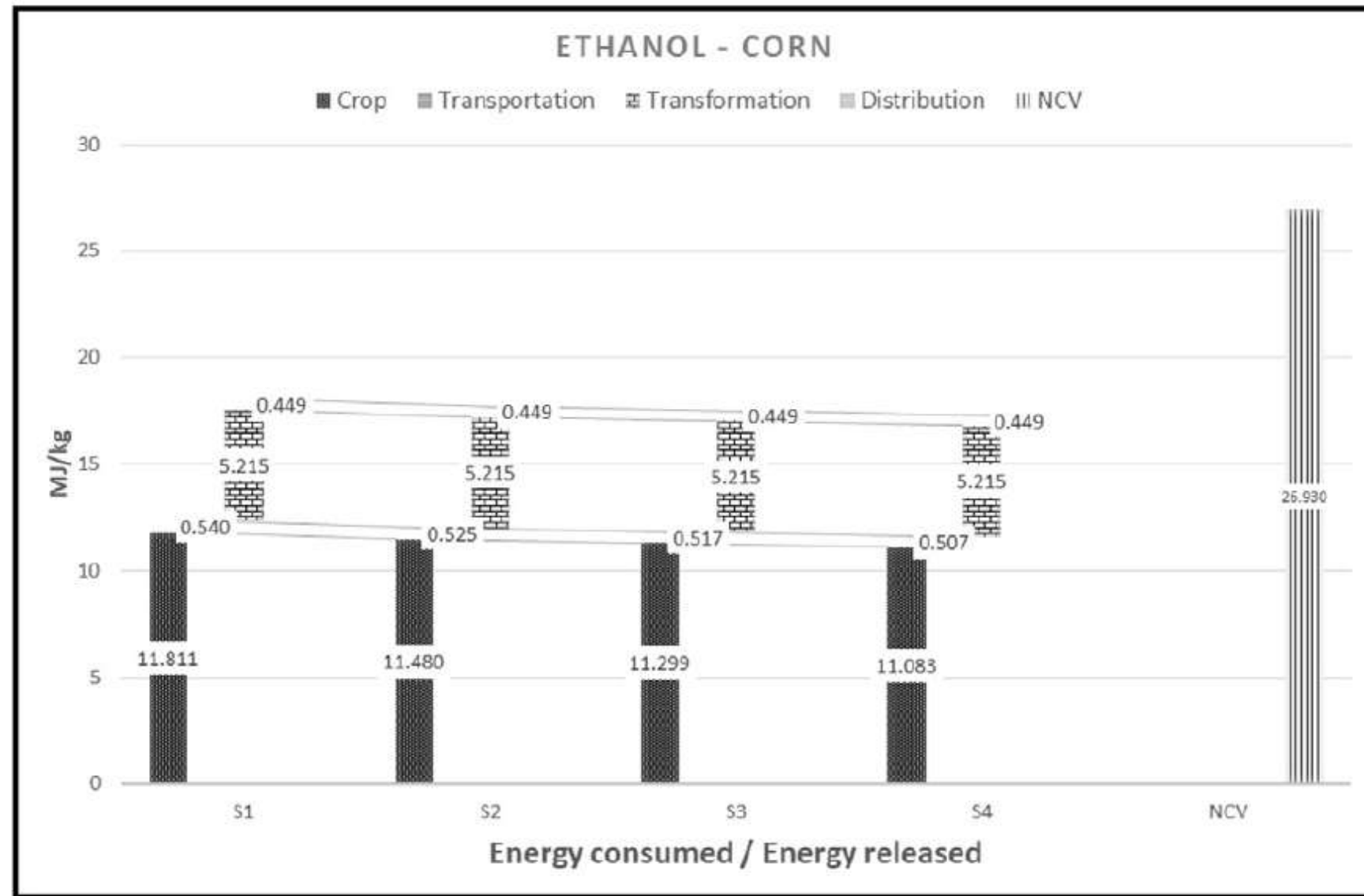


ETHANOL - SUGAR CANE

- RESULTADOS – ETANOL CAÑA DE AZÚCAR

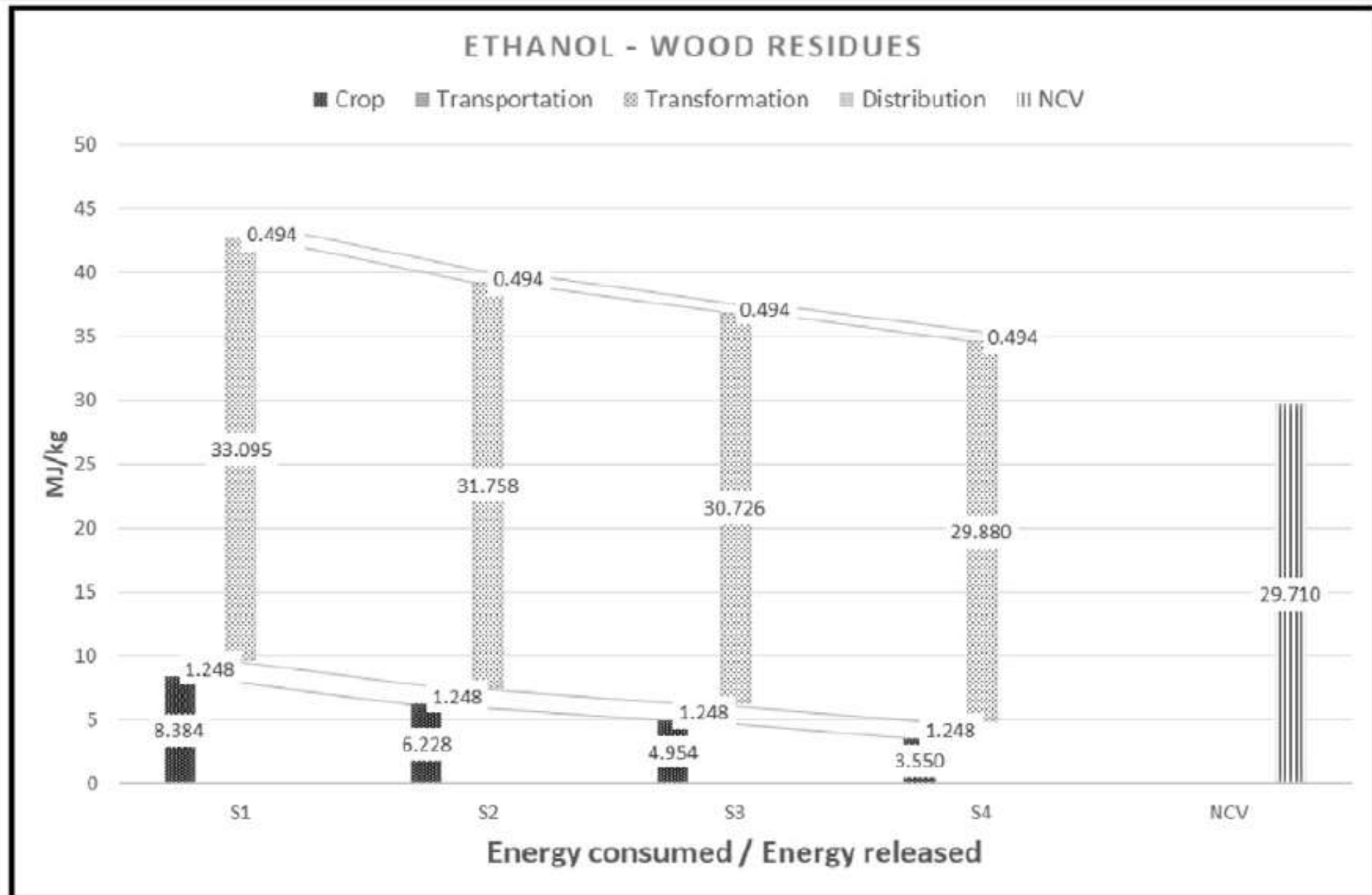


- RESULTADOS – ETANOL MAÍZ

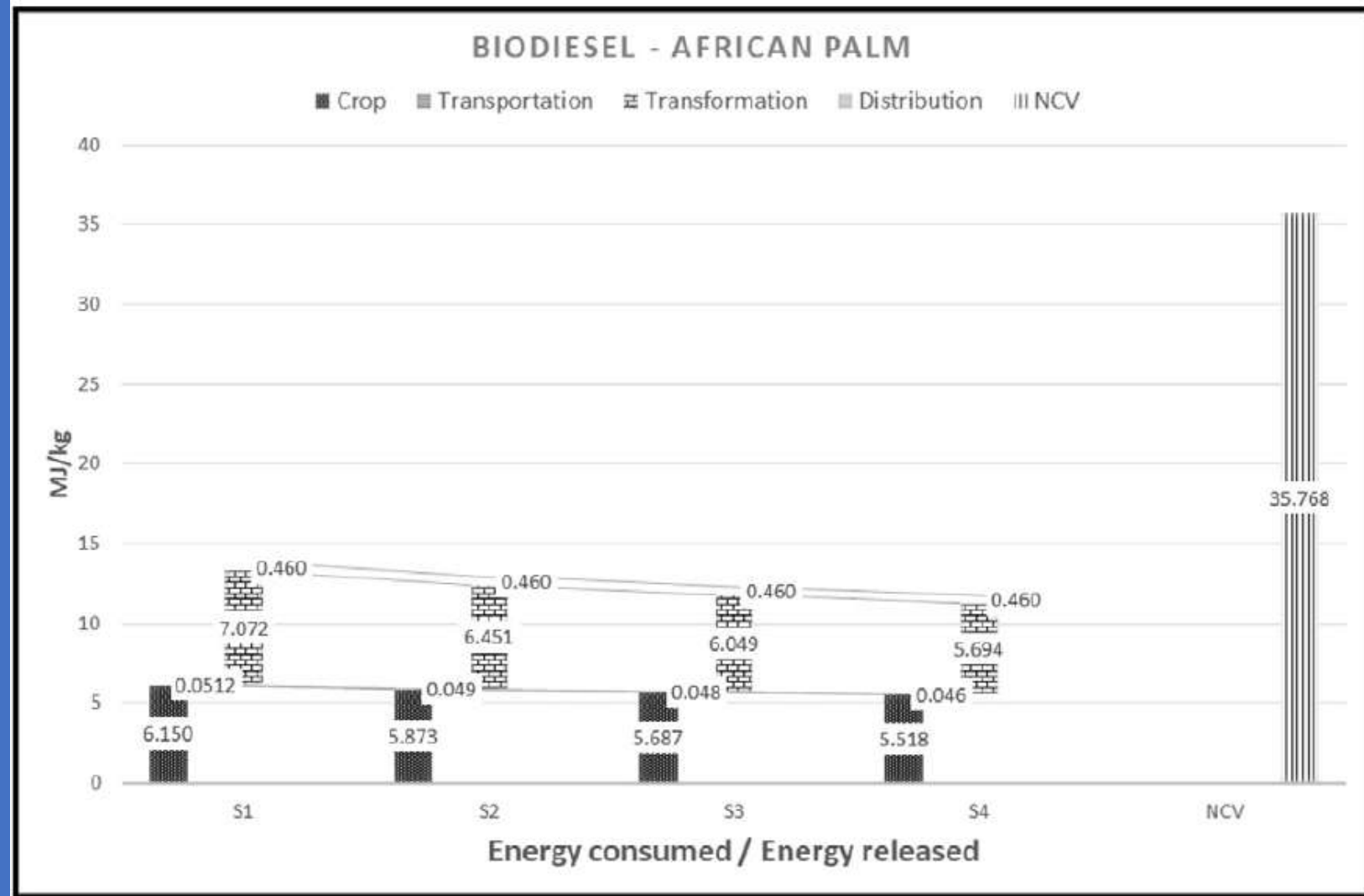




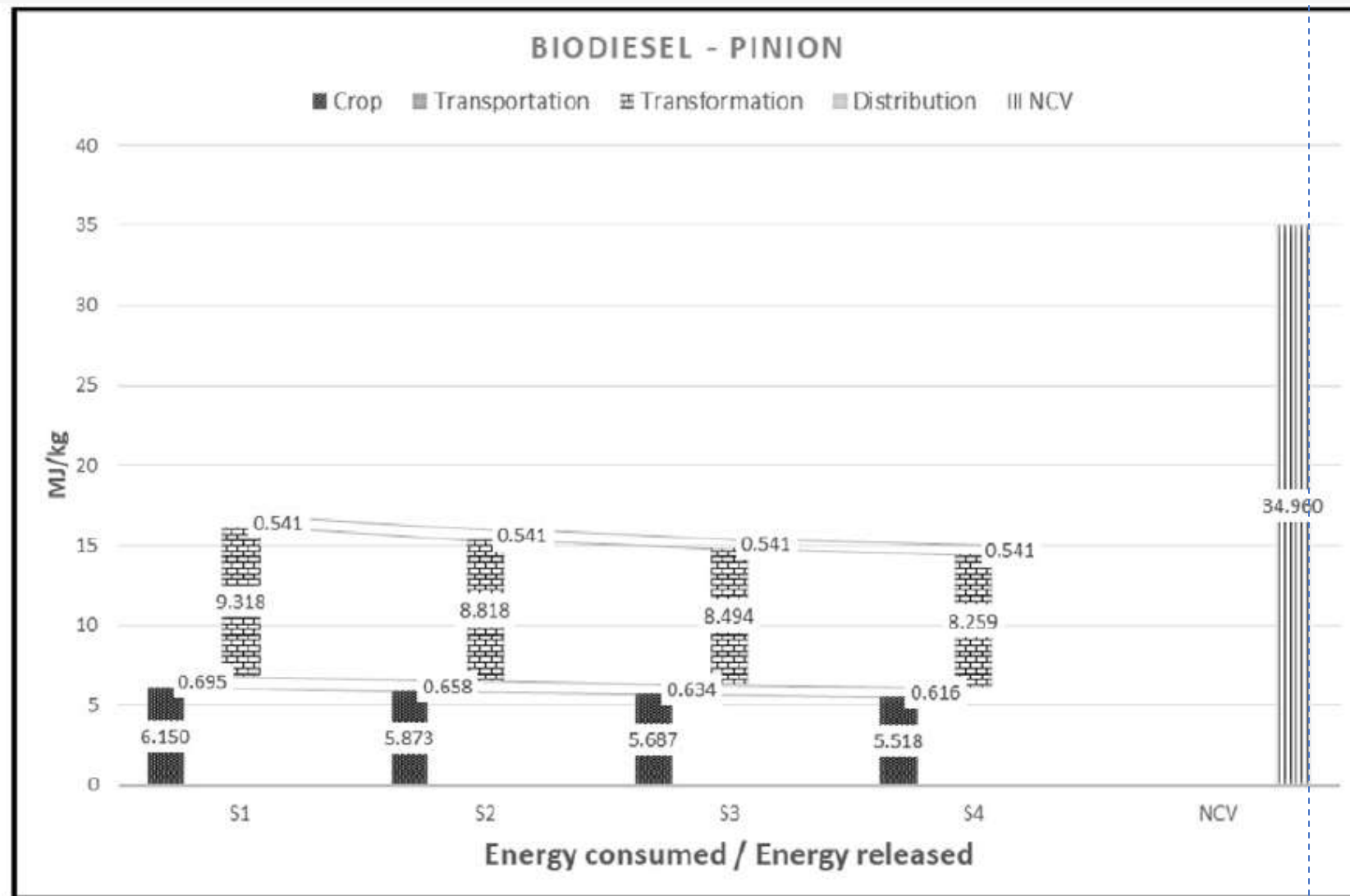
- RESULTADOS
– ETANOL
RESIDUOS
FORESTALES



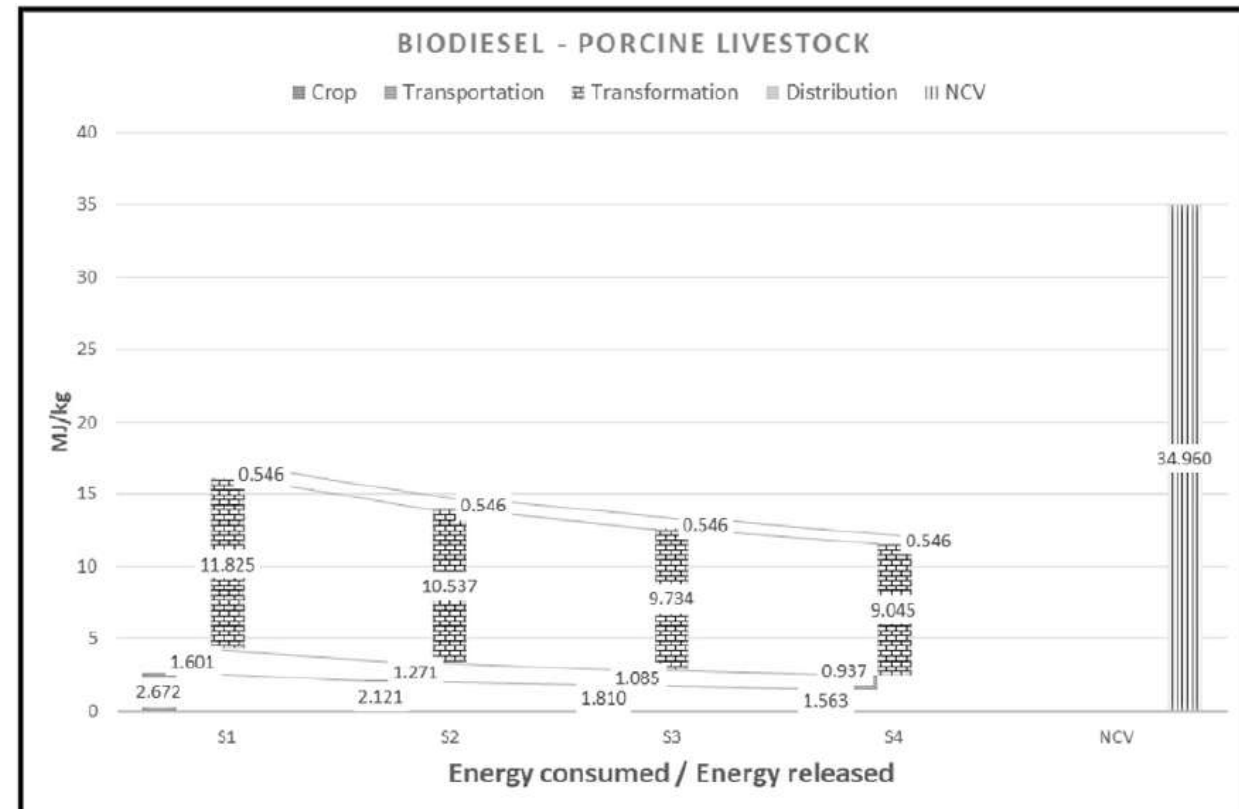
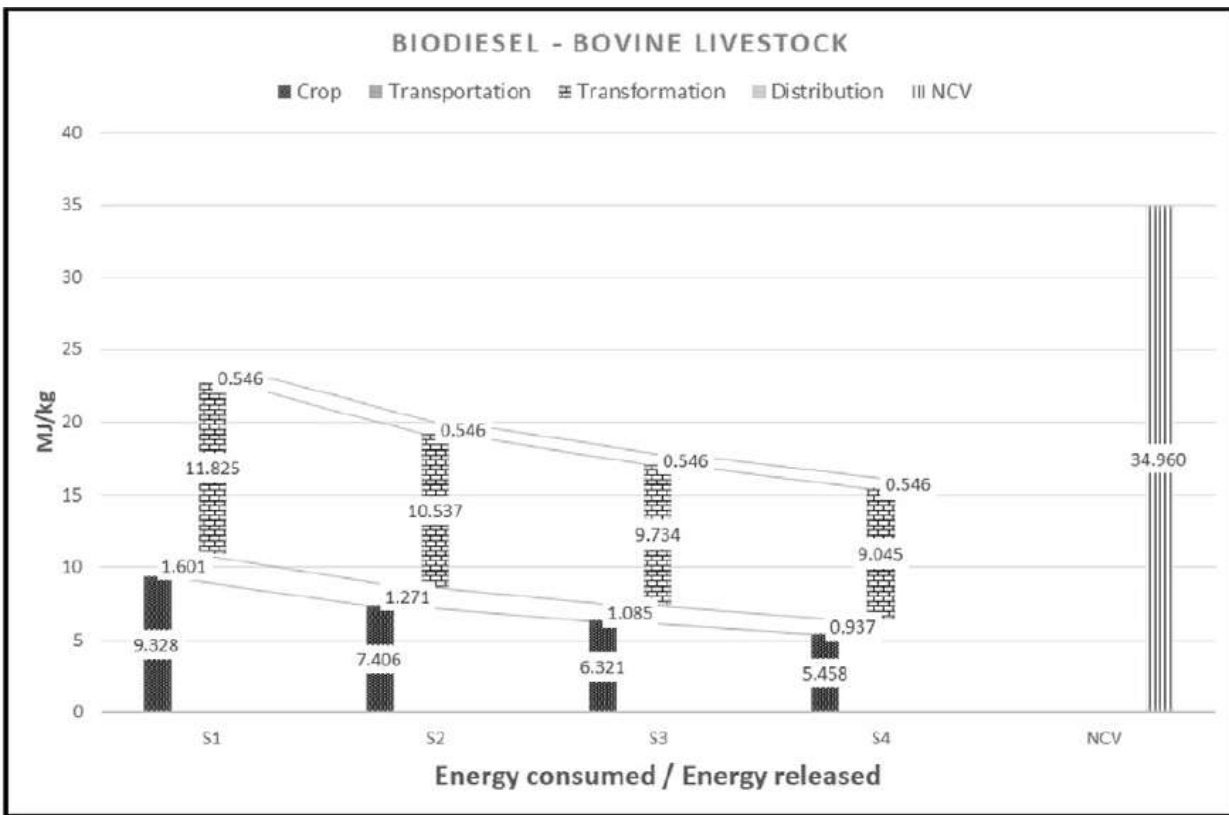
- RESULTADOS—
BIODIESEL PALMA
AFRICANA



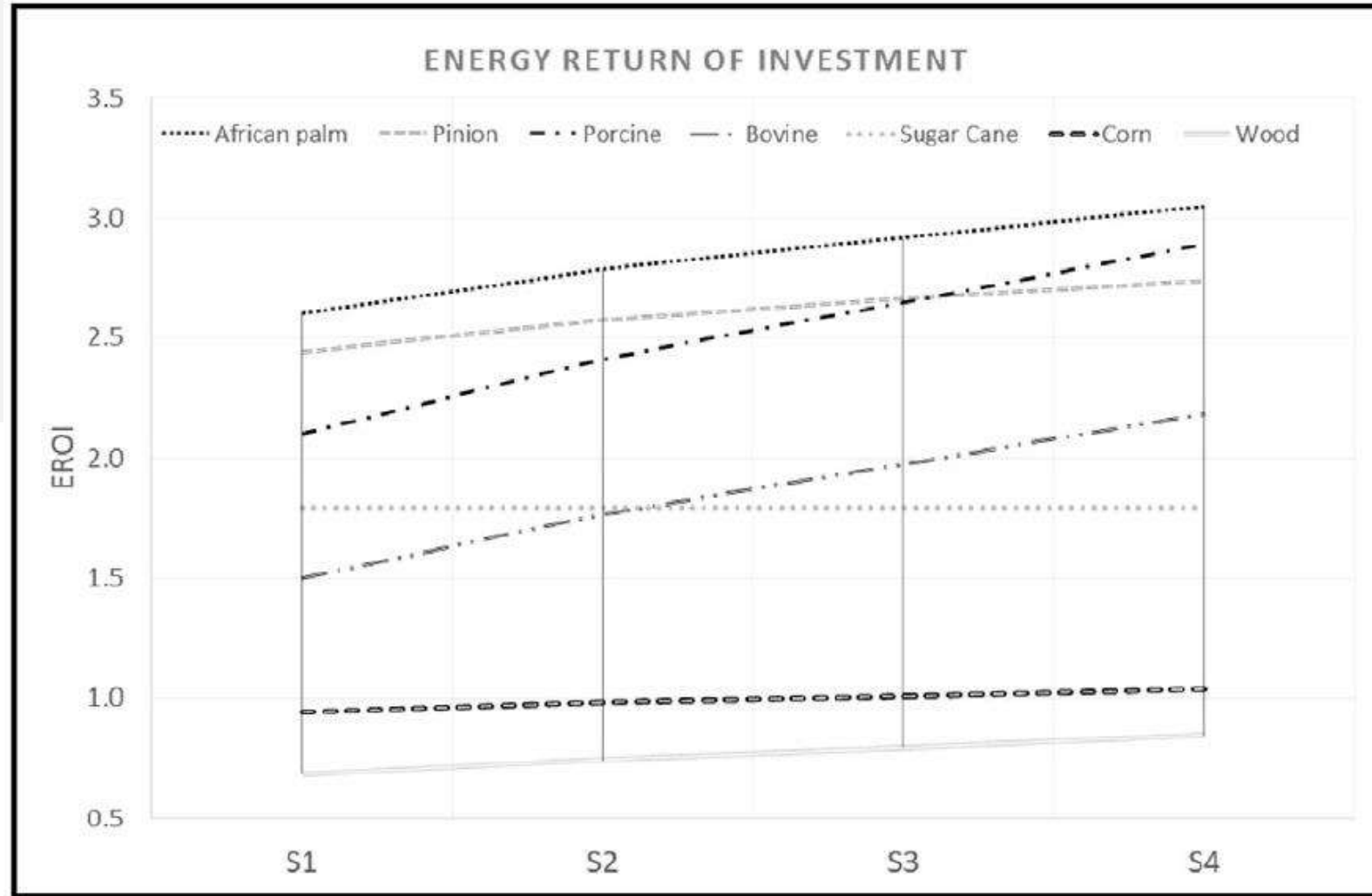
- RESULTADOS –
BIODIESEL PIÑÓN



- RESULTADOS – BIODIESEL GRASA ANIMAL

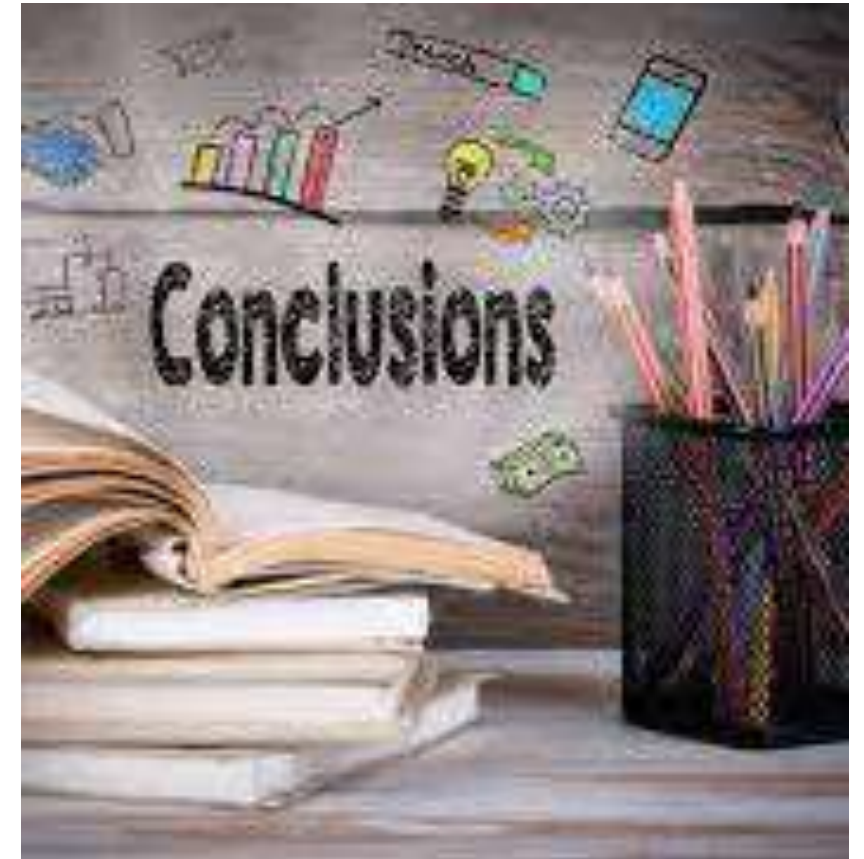


- RESULTADOS – BIODIESEL GRASA ANIMAL

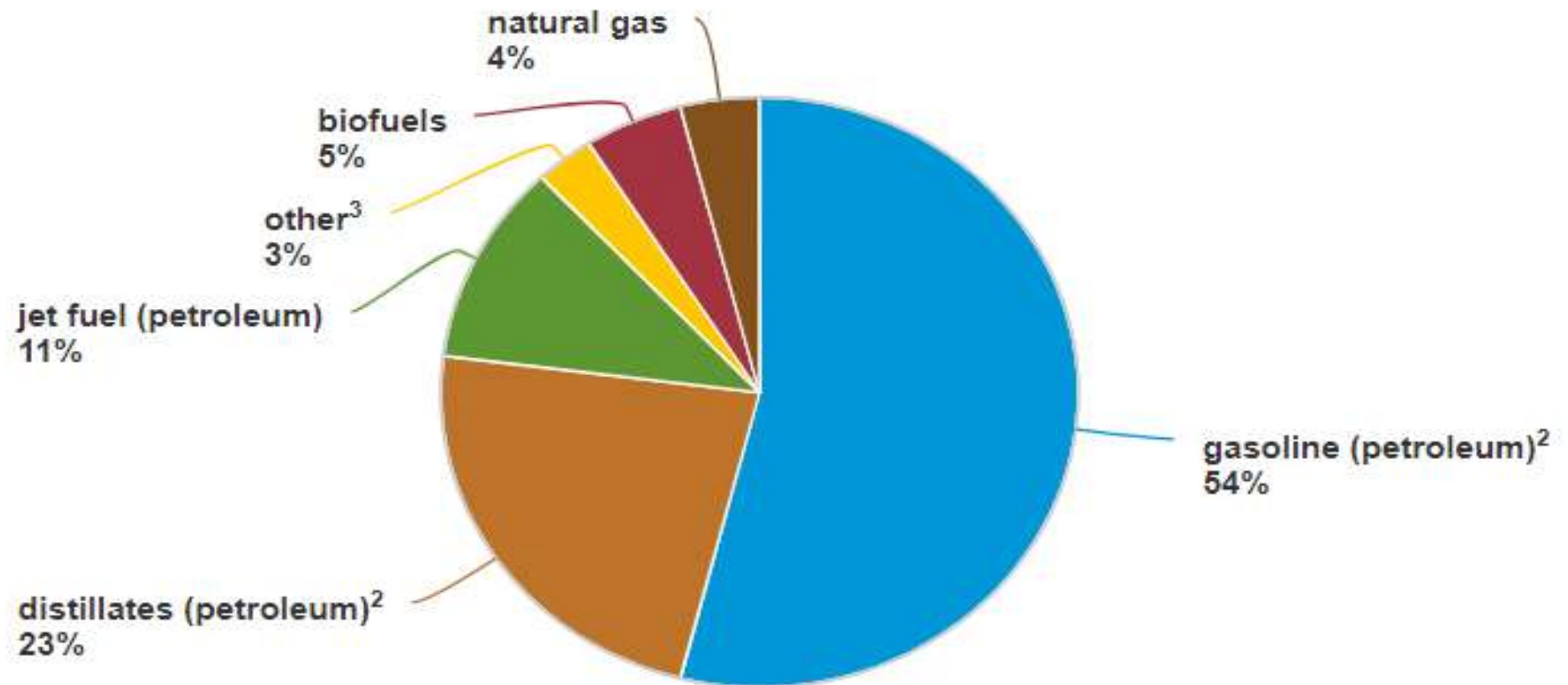


CONCLUSIONES

- Los valores de EROI oscilan entre 0,845 y 1,796 para etanol y entre 1,500 y 3,052 para biodiesel.
- El desarrollo está relacionado con la EROI en la que las sociedades basan sus economías. En Ecuador, la producción de energía primaria a partir de combustibles fósiles es cercana al 94 %, y los biocombustibles constituyen menos del 1%.
- La mayor demanda de energía es para el cultivo (10,1–54,2 %) y etapas industriales (33,8–85,0 %).
- De acuerdo con la demanda de Ecopaís, el mercado energético del etanol anhidro sería de 1.300 kBOE (8.000.000 MJ).
- La producción de mezclas B10 para satisfacer la demanda nacional representaría 3.500 kBOE (21.400.000 MJ) de aporte energético de biodiésel.
- Los mejores escenarios de producción para etanol (caña de azúcar 1.796) y biodiesel (palma africana 3.052) sugieren que gastar una unidad de energía para producir biodiesel generaría 1.256 unidades energéticas más que bioetanol.

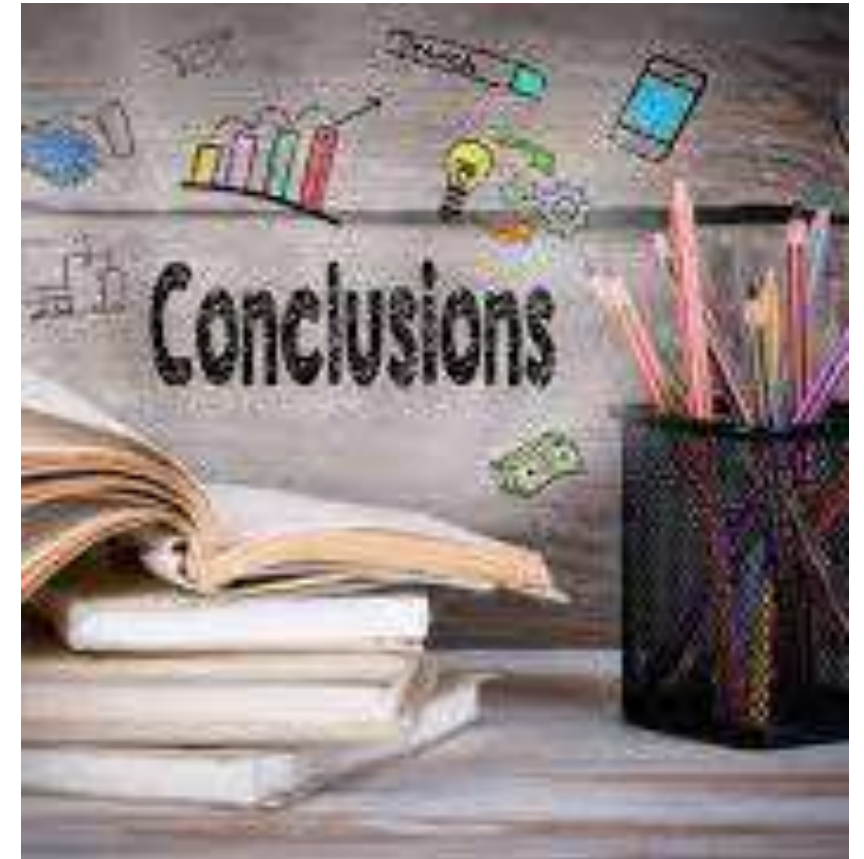


U.S. transportation energy sources/fuels, 2021 ¹



IMPLICACIONES

- La tasa de retorno energético del bioetanol es factible solo para la caña de azúcar (excedente energético 1.796). Para el biodiesel, los valores son favorables en todos los escenarios, ya que su EROIpou siempre fue mayor a 2.
- Las etapas de cultivo y transformación industrial son las de mayor demanda energética; por lo tanto, las políticas de eficiencia energética deben comenzar por atender estas etapas.
- La Ley Orgánica de Eficiencia Energética convoca a la creación de políticas necesarias para promover la comercialización de biocombustibles a nivel nacional. No existen programas o planes de implementación claros para el biodiesel.
- Se debe diversificar la matriz y destinar combustibles de combustión directa, como el piñón, para uso directo en la generación de energía. Aquí, la EROIpou aumentaría de 2.743 a 8.864.
- La tierra requerida para satisfacer la demanda interna con Ecopaís y biodiesel (B10) presentan densidades energéticas similares, ya que ambos tienen (rendimientos similares del 17,7 MJ / km²). Este tema merece un mayor estudio que considere el agua requerida y las emisiones netas de gases de efecto invernadero generadas.



¡Gracias!

-
- Gonzalo Chiriboga Gavidia.
 - Andrés De La Rosa.
 - Camila Medina.
 - Stefany Velarde.
 - Ghem Carvajal Chávez.