

UN ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD Y LA ENTROPÍA PARA EL CASO DEL MAÍZ AMARILLO¹

1

2

3

4

5

6

7

8

Néstor Orlando Cordero Sáenz
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad de La Salle
ncordero@unisalle.edu.co

Introducción

De acuerdo con diversos autores, la agricultura es uno de los procesos más transformadores de la humanidad. El cambio en el estilo de vida de los habitantes y de los ecosistemas creó las condiciones para los demás procesos de transformación de la sociedad y el camino a la denominada civilización (*Semillas.org*, 29 de abril de 2022).

En este proceso de desarrollo la agricultura ha tenido diferentes transformaciones y adaptaciones a los territorios y las nuevas tecnologías, sin embargo, cabe resaltar la denominada “revolución verde”. Este proceso inició en la década de los sesenta en los Estados Unidos, y posteriormente fue llevada a los diferentes países del mundo. Su creador, Norman Borlaug, en la búsqueda de la erradicación del hambre, planteó una serie de cambios que llevó a incrementos significativos de la productividad, entre los que estuvo el mejoramiento genético en producción, principalmente, de cereales, el desarrollo de variedades que fuesen más resistentes y adaptables a los diferentes entornos productivos, la mecanización de los cultivos, la implementación de sistemas de riego y el uso de fertilizantes y plaguicidas entre otros insumos agroquímicos (FAO, 1996).

El éxito de la revolución fue respaldado por los datos. Según la FAO, entre 1950 y el 2004 el trigo pasó de tener rendimientos de 0,7 t por hectárea a más de 2,5 toneladas en la misma área. Para el caso del maíz, los datos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (Faostat) son más contundentes: Estados Unidos pasó de un promedio de 4,5 a 9,2 toneladas por hectárea entre 1960

y 2012; Argentina, en el mismo periodo, pasó de 1,9 a 6,5 t; en el caso de Brasil, la productividad se triplicó pasando de 1,3 a 3,7 t; y, en general, en el mundo, se pasó de 2,2 t a 4,8, un poco más del doble. De acuerdo con Cadet-Díaz y Guerrero (2018), estos cambios son atribuibles en gran medida a los efectos de las transformaciones tecnológicas de la revolución verde.

En el caso de Colombia, las evaluaciones agropecuarias municipales generan un reporte de rendimiento para la producción tecnificada y la producción tradicional; en el caso de la primera, en los últimos cuatro años ha representado un promedio de 4,5 toneladas, con una ligera caída posterior a la pandemia. Entretanto, la producción tradicional, un promedio de 1,93 toneladas, cerca de un 57% inferior en rendimiento, tendencia que se ha mantenido a lo largo de todos los ciclos evaluados como se ve en la figura 1 (Unidad de Planeación Rural Agropecuaria, 1 de junio de 2024).

Pese a lo anterior, este escrito no está enfocado en demostrar las bondades que la revolución verde ha tenido, por el contrario, pretende dar al lector una mirada de análisis distinta que puede constituir un punto de vista alternativo al análisis tradicional de la productividad como mecanismo de análisis de la producción agrícola.

Para tal fin se establece el prisma de la eficiencia energética como punto de partida del enfoque comparativo entre la producción tradicional y tecnificada. En este sentido, es necesario entender la aplicabilidad de las diferentes leyes físicas de la energía y la termodinámica, particularmente, se requieren las dos primeras a fin de entender la diferencia entre la productividad y la eficiencia en

¹ Este artículo hace parte de la tesis doctoral: “MODELO DE GESTIÓN TERRITORIAL SOSTENIBLE BASADO EN LA INTEGRACIÓN DE FACTORES SOCIALES Y TERRITORIALES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNIDADES AGRÍCOLAS CAMPESINAS EN CUNDINAMARCA”.

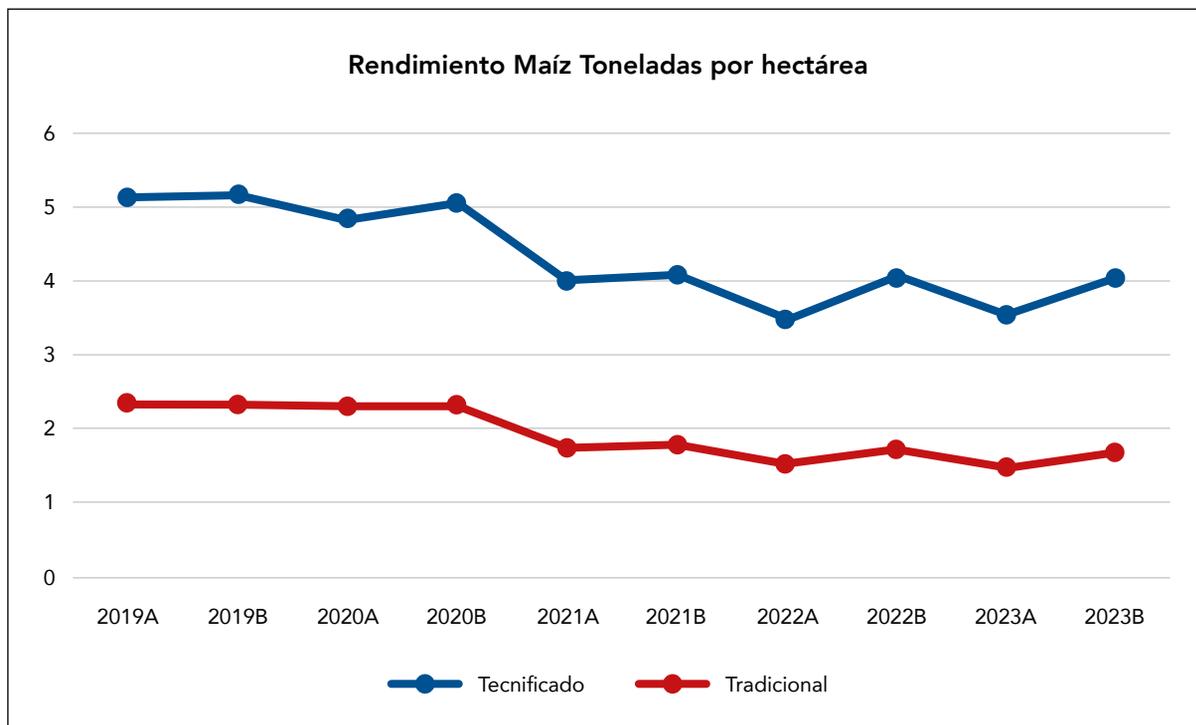
los sistemas agropecuarios, así como sus implicaciones desde las producciones tradicionales y tecnificadas.

En este orden de ideas, la primera ley menciona la conservación de la energía. Esto quiere decir que la energía aplicada sobre un sistema es equivalente a la cantidad que se transforma en trabajo y a aquella que se manifiesta en otras formas de energía. Es el famoso principio según el cual, “la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma” (Física-Lab, 2024). La segunda ley menciona que ningún sistema puede alcanzar un 100% de eficiencia, es

decir, no es posible que toda la energía aplicada a un sistema se transforme en trabajo; el restante porcentaje de energía se perdería como desecho y transferencia de calor al medioambiente. Esta ley, conocida como la entropía, considera que siempre la energía fluirá de un estado más ordenado hacia uno más desordenado, a menos que se aplique un trabajo externo al sistema. Dado dicho trabajo debe provenir de otra fuente de energía, el universo, en cuanto sistema cerrado, siempre tenderá a una mayor entropía, es decir, a que la energía fluya de estados aprovechables a estados no aprovechables.



Figura 1. Rendimiento por hectárea maíz tradicional vs tecnificado en Colombia



Fuente: elaboración propia a partir de las evaluaciones agropecuarias municipales (UPRA, 2024).

Desarrollo

De acuerdo con Georgescu-Rougen, los sistemas económicos, al estar inmersos en el Universo, no son ajenos a estas leyes, y de ninguna forma escapan a ellas. Por tanto, la economía de la producción agraria tampoco debería estar ajena a dichos preceptos (Georgescu-Rougen, 1996). La pregunta entonces es: ¿cómo interpretarlo?, y ¿cómo comparar los sistemas productivos tradicionales y tecnificados?

Para este paso se presenta el caso del cultivo de maíz. En Colombia se considera tecnificados cultivos de más de 5 ha con sistema de riego, semilla mejorada, fertilización y mecanización intensiva. Entretanto, un cultivo tradicional para

este producto se define como inferior a 5 ha, semillas propias no certificadas, arado con azadón y chuzo (Centro Internacional Para la Agricultura Tropical & Centro Internacional del Mejoramiento del Maíz y el Trigo, 2019).

Análisis de costos y productividad

Para la realización de la comparación se tomaron los datos de maíz amarillo del Tolima, ofertados por el Sipsa y disponibles en Agronet, correspondientes al año 2010. En este reporte de costos se registraba un rendimiento para el maíz tecnificado de 4,89 toneladas, mientras el tradicional mostraba 1,67 toneladas. Asimismo, para el tecnificado, los costos totales por hectárea fueron de \$2 309 417, superior al tradicional de \$1 051 734. Los insumos utilizados se presentan en la tabla 1.

Teniendo en cuenta que los datos son de 2010, se realizó el cálculo del costo utilizando como deflactor el salario mínimo. Para el año en cuestión, el salario en Colombia fue de COP 515 000 (Banco de la República de Colombia, 1 de junio de 2024); por tanto, el costo de los cultivos tradicionales sería equivalente a 2,04 salarios, mientras el costo para el cultivo tecnificado equivaldría a 4,48 salarios.

En este sentido, a 2024, con un salario de COP 1,3 millones, el costo equivaldría a COP 2,655 millones para el cultivo tradicional, y COP 5,829 millones para el caso del sistema tecnificado. Asimismo, de acuerdo con el Sipsa (Sistema de información de Precios Agropecuarios), el precio promedio del kilo de maíz a mayo de 2024 ha sido de COP 1400 pesos (Fenalce, 2024).

Con los datos expuestos se calcularía un ingreso para el cultivo tecnificado de COP 6,851 millones por hectárea, con una utilidad de un millón de pesos

por hectárea; entretanto, el ingreso para un cultivo tradicional (teniendo en cuenta que el cultivo tradicional no suele tener una finalidad puramente comercial) se estima en \$2,333 millones, representando una pérdida de COP 321 000. Cabe aclarar que, del costo estimado para el cultivo tradicional, cerca del 80% corresponde al costo de la mano de obra. Dado que esta mano de obra y para este tipo de agricultura es familiar, no se suele percibir por las unidades productivas como un costo real del sistema.

Finalmente, utilizando el cálculo de productividad de todos los factores de producción como las salidas sobre las entradas, tendríamos una productividad de 1,18 para el caso de los cultivos tecnificados, y 0,88 para el cultivo tradicional. En este sentido, la comparación por productividad favorece la expansión de los cultivos tecnificados en detrimento de los cultivos tradicionales; no obstante, la siguiente parte de este análisis pretende dar una mirada distinta a este cálculo.

Tabla 1. Consumo de recursos de maíz tradicional y tecnificado

| Recursos | Tradicional | Tecnificado | Unidad |
|------------------------|-------------|-------------|---------|
| Hr Hombre | 360 | 128 | horas |
| Pasadas maq | 0 | 10 | pasadas |
| Propagación | 14 | 20 | kilos |
| Costo semilla | 51 000 | 327 000 | pesos |
| Fertilizantes edáficos | 108,3 | 634 | Kg/lt |
| Foliares | | 1,3 | Kg/lt |
| Fungicidas | 1,7 | 1 | Kg/lt |
| Insecticidas | 0,3 | 1,5 | Kg/lt |
| Herbicidas | 5,3 | 3 | Kg/lt |
| Arriendo | 176 798 | 353 990 | Kg/lt |
| Agua | 470 | 330 | L/Kg |
| Rendimiento | 1,667 | 4,89 | Tn/Ha |

Fuente: Sistema de Información de Precios Agropecuarios (2010).

Análisis de energía

Para el cálculo de la eficiencia energética se parte de aquellos elementos del sistema que tienen entropía baja, para este caso la semilla, la energía solar (se considera constante para ambos sistemas), y los combustibles fósiles (usados para la maquinaria). Estos elementos se transforman en biomasa aprovechable, medida por medio de la productividad. En el caso del sistema tradicional, 14 k de semilla se transforman en 1,67 t de maíz, y en la propagación 20 k de semilla se transforman en 4,89 t. Dicha transformación se da por la aplicación del trabajo proporcionado por los fertilizantes, la capacidad productiva de la tierra, la mano de obra y la maquinaria, y la fotosíntesis. Finalmente, como desperdicios del sistema, se establecen las pérdidas por calor, desechos de CO₂ producto de la quema de combustibles, pero también de los desechos metabólicos de la mano de obra y de la biomasa producto de la fotosíntesis (Araque, 2014).

Frente a los aportes de energía, se realizaron los supuestos que se relacionan a continuación.

Entradas

Una persona de 70 k en promedio quema 600 calorías por hora realizando una actividad pesada, y requiere una dieta mínima de 1200 kilocalorías por día para realizar dichas labores (Ardila *et al.*, 2014).

Un galón de diesel aporta aproximadamente 378 131 kilocalorías por galón. Se estima que un cultivo de maíz tecnificado consume cerca de 53 galones, lo que equivale a 20 040 943 kilocalorías (Gas País, 5 de junio de 2024).

Para el caso de los fertilizantes, el cálculo es más complejo, pues no existen cifras representativas. No obstante, según el portal *The Conversations* (Gabriel

& Quemada, 2022), la producción de fertilizantes demanda el 8,3% de la energía consumida por el mundo, dada la complejidad que requiere romper los enlaces del nitrógeno, principal componente de la urea, según el portal Descubre la energía (Descubre la Energía, 3 de junio de 2023). El mundo consume 85 billones de kilovatios hora, si el 8% se gasta en esta industria, eso equivale a cerca de siete billones de kw/hora, que producen mil millones de toneladas de fertilizantes al año, que equivalen a 7,05Kw/hora por cada kilogramo de fertilizante generado. Esto corresponde a 6091 kilocalorías hora por kilogramo de fertilizante utilizado.

Para el caso del agua, de acuerdo con la FAO, un gramo de maíz requiere de 100 gramos de agua, de los cuales se evaporan aproximadamente 350 g. Asimismo, un gramo de agua se evapora usando 2400 megajulios, o lo mismo que 573 616 calorías. (Lafitte, 1996).

Salidas

Del maíz, según el portal *Fitia.com*, 100 g de maíz amarillo contienen 104 kcal, 3,3 g de proteínas, 28,7 g de carbohidratos y 0,8 g de grasas. (Fitia, 3 de junio de 2024).

Asimismo, Arellano *et al.* estimaron que una hectárea de maíz produce en promedio 5204 kg de rastrojo o materia seca para una producción de 4,83 t de maíz, y 1774 k para 1,67 toneladas en el caso de la producción tradicional (Arellana *et al.*, 2016). De estos, el 53% es utilizado para consumo animal, el 27% se transforma en abono y el 20% se quema. Lo anterior incluye los contenidos no aprovechables de la planta y las arvenses del suelo.

Suponiendo estas fuentes como los aportantes al sistema en kilocalorías, la cantidad total de energía que entra estaría dada en las tablas 2 y 3.

Para el caso de las salidas, se tuvo en cuenta la productividad del cultivo y la biomasa aprovechable para generación de energía calórica. Los resultados se presentan en las tablas 4 y 5.

Para el caso de los cultivos tradicionales, la pérdida de energía es cercana a los 8,1 millones de kilocalorías (esto sin contar la transformación de la energía solar por medio de la fotosíntesis, la cual, para este caso, se asumió constante); entretanto, para los sistemas tecnificados la pérdida es de cerca de cuarenta millones de kilocalorías.

Para el cálculo de la eficiencia energética se utilizó la fórmula (Faires & Simmang, 1999):

$$\eta = \text{energía de Salida/energía de entrada.}$$

En este sentido, la eficiencia para el sistema tradicional con los datos fue de 49,13%, mientras para el sistema tecnificado fue de 36,5%. Asimismo, la entropía puede interpretarse como la inversa de la eficiencia energética, considerando que, a mayor eficiencia, menor desorden (entropía) en el sistema. Por tanto, para el sistema tradicional se tiene una entropía de 2,03, inferior al 2,74 del sistema tecnificado.

Frente a este panorama, la pregunta es ¿qué implicaciones tiene que un proceso productivo agrícola tenga una menor eficiencia? Pero, sobre todo,

Tabla 2. Aportes energéticos del cultivo tradicional de maíz amarillo

| Entrada | Cantidad | Unidad | Aporte unit. | Aporte total |
|----------------|------------|-----------|--------------|--------------|
| Horas hombre | 360 | Horas | 150 | 54.000 |
| Combustible | 5 | Galones | 378131 | 1.890.655 |
| Fertilizantes | 115,6 | Kilogramo | 6091 | 704.120 |
| Semillas | 14 | Kilogramo | 1040 | 14.560 |
| Agua | 1667 | Toneladas | 6720 | 11.202.240 |
| Abono rastrojo | 478,991485 | Kilogramo | 4290,94025 | 2.055.324 |
| TOTAL | | | | 15.920.898 |

Tabla 3. Aportes energéticos del cultivo tecnificado de maíz amarillo

| Entrada | Cantidad | Unidad | Aporte unit. | Aporte total |
|----------------|----------|-----------|--------------|--------------|
| Horas hombre | 128 | Horas | 150 | 19.200 |
| Combustible | 53 | Galones | 378131 | 20.040.943 |
| Fertilizantes | 640,8 | Kilogramo | 6091 | 3.903.113 |
| Semillas | 20 | Kilogramo | 1040 | 20.800 |
| Agua | 4890 | Toneladas | 6720 | 32.860.800 |
| Abono rastrojo | 1405,08 | Kilogramo | 4290,94025 | 6.029.114 |
| TOTAL | | | | 62.873.970 |

Tabla 4. Salidas de energía de cultivo tradicional de maíz amarillo

| Salidas | Cantidad | Unidad | Aporte unit. | Aporte total |
|---------------|------------|-----------|--------------|--------------|
| Maíz | 1667 | Kilogramo | 1040 | 1.733.680 |
| Rastrojo útil | 1419,23403 | Kilogramo | 4290,94025 | 6.089.848 |
| TOTAL | | | | 7.823.528 |

Tabla 5. Salidas de energía de cultivo tecnificado de maíz amarillo

| Salidas | Cantidad | Unidad | Aporte unit. | Aporte total |
|---------------|----------|-----------|--------------|--------------|
| Maíz | 4890 | Kilogramo | 1040 | 5.085.600 |
| Rastrojo útil | 4163,2 | Kilogramo | 4290,94025 | 17.864.042 |
| TOTAL | | | | 22.949.642 |

¿por qué a pesar de una menor eficiencia, el proceso tecnificado claramente muestra una mayor productividad?

A fin de responder la primera pregunta retomemos el término de *entropía*. Si bien existen muchas definiciones, podría entenderse como la indisponibilidad de uso de la energía (Berry, 1991). Es decir, toda fuente de energía posee un potencial termodinámico, el cual consiste en la transferencia de dicha energía a otro sistema, en forma de calor y en forma de trabajo; así, por ejemplo, el petróleo transfiriendo trabajo y calor a una máquina, los alimentos a un ser humano, los fertilizantes a la tierra, entre otros. No obstante, cuando estas fuentes de energía son utilizadas no se destruyen (primera ley de la termodinámica), pero su capacidad de usarse como energía útil se reduce. Este fenómeno se puede apreciar en las aguas utilizadas que, al estar contaminadas, reducen su potencial de uso para nuevas cosechas; en los fertilizantes al erosionar la capa vegetal, pues reducen el potencial energético de la tierra; el desgaste de las máquinas o el cansancio de los trabajadores también

reducen la capacidad de transformar nueva energía en trabajo (Marco, 2013).

Pese a lo anterior, se podría pensar que tratamientos sobre la tierra, procesos de descontaminación del agua y tratamiento y recuperación de desechos pueden reducir la entropía del sistema productivo alimentario. Sí, pero, esta segunda ley también se expresa en el enunciado “en los procesos reales, la entropía del Universo siempre aumenta. De acuerdo con el enunciado de Clausius, “es imposible extraer calor de una fuente fría y transferirla a una caliente a menos que se aplique un trabajo sobre ella” (Faires & Simmang, 1999). Estos dos enunciados de la ley de la termodinámica nos dicen que para reducir la entropía debemos aplicar trabajo proveniente de alguna otra fuente de energía y transferir dicha entropía a otro sistema, por ejemplo, el medio ambiente (Peet, 1992).

En este sentido, un sistema de producción agroalimentaria de mayor entropía degradará en mayor medida los recursos potenciales de energía, la recuperación de dichos recursos requerirá de

trabajo y fuentes de energía externas, reduciendo la cantidad de energía aprovechable en el sistema Universo en el largo plazo.

No obstante, se puede apreciar que ambos sistemas de producción generan un aumento de entropía, es decir, para ambos la energía útil se pierde. Esto es evidente, ya que no puede haber una entropía negativa en el sistema real. En la suma de todos los sistemas la entropía siempre aumenta, y como se mencionó en el párrafo anterior, reducirla requeriría de un trabajo y tomar energía de otro subsistema. Sin embargo, el uso de sistemas productivos menos entrópicos reducirá la pérdida de energía. Esta reducción se verá reflejada en una conservación de los recursos naturales de agua, suelo y reducción de emisiones al aire. Por tanto, para el caso del maíz, ambientalmente se obtienen mejores resultados con el proceso tradicional frente al proceso tecnificado.

Esta reflexión lleva a dar más fuerza a la segunda pregunta acerca de la productividad. En primer lugar, es necesario mencionar que la productividad se analiza desde la producción por unidad de tierra o de mano de obra, y se considera productivo aquello que genere mayores resultados utilizando únicamente estos dos factores. Es decir, la visión tradicional de la productividad no contempla el factor de energía para realizar el análisis. Los autores más representativos de la productividad, entre ellos, Adam Smith, Fayol, Taylor y Marx, entre otros, consideraron dentro de sus estudios el problema de la mano de obra y del capital, y atribuyeron los incrementos de la productividad a estos dos factores. De esta forma, desconocieron la implicación del uso intensivo de los recursos naturales y su aporte a dicha productividad, con lo cual se desconoció el consumo energético sobre los sistemas.

En 1798, Malthus publicó su ensayo sobre el principio de la población, en el que mostraba la denominada “catástrofe malthusiana”. En esta analizaba como la humanidad con la Revolución industrial crecía de forma exponencial, no obstante, la producción de alimentos crecía de forma lineal, haciendo que llegase un punto donde el planeta dejaría de producir alimentos para sus habitantes. Si bien Malthus erró su predicción debido a las variables tecnológicas, su análisis temprano dio alertas de la importancia de los recursos finitos de los sistemas naturales y energéticos. La tecnología, la innovación y la organización del trabajo efectivamente han logrado incrementar la productividad, alargando la capacidad de sostenibilidad del planeta, no obstante, este aumento ha ido en detrimento de los recursos naturales y de los usos ineficientes de la energía.

Esta formulación del mundo productivo que desconoció los recursos se apalancó en un costo energético muy bajo. La desintegración del Imperio otomano en repúblicas petroleras generó una fuente de energía barata que permitió los incrementos de productividad sin un incremento real de costo, a pesar de los excedentes de gasto energético y entropía. A pesar de los procesos de nacionalización del petróleo y la crisis de los años setenta, las fuentes de energía se mantienen subsidiadas y solo hasta el siglo XXI se ha comenzado a hablar de transición energética basada en fuentes de menor entropía, no solo para su uso en la agricultura, sino, en general, en los sistemas productivos.

Conclusiones

La comparación entre los sistemas de producción agrícola tecnificados y tradicionales revela una paradoja fundamental: los sistemas tecnificados son premiados y favorecidos por su alta productividad, a pesar de ser los que exhiben una mayor entropía.

A continuación, se presentan las conclusiones de este análisis, abordando por qué los sistemas tecnificados son más productivos y por qué, a pesar de su mayor entropía, siguen siendo los preferidos en la agricultura moderna.

Los sistemas tecnificados de producción agrícola, aunque presentan una menor eficiencia energética y una mayor entropía, se destacan por su alta productividad. Esta mayor entropía implica una mayor pérdida de energía útil, manifestada en la degradación del suelo, la contaminación del agua y el desgaste de la maquinaria y la mano de obra. A pesar de estas desventajas, la eficiencia energética no es el único factor determinante en la evaluación de la productividad agrícola.

La razón principal por la cual los sistemas tecnificados son premiados y favorecidos radica en su capacidad de generar rendimientos superiores y gestionar eficientemente el tiempo y el trabajo. La utilización de semillas mejoradas, sistemas de riego y métodos avanzados de cultivo permiten maximizar la producción por hectárea. Además, la mecanización reduce el esfuerzo humano y el tiempo necesario para las labores agrícolas, haciendo posible una producción a mayor escala y más rentable. Políticas gubernamentales y subsidios también juegan un papel crucial en incentivar la adopción de estos sistemas.

Para el futuro es esencial encontrar un equilibrio entre la alta productividad y la sostenibilidad. La transición hacia fuentes de energía de menor entropía, como, por ejemplo, las energías renovables, puede mitigar el impacto ambiental de la agricultura tecnificada. Integrar prácticas agrícolas sostenibles que conserven el suelo y reduzcan el uso de insumos químicos mejorará la viabilidad a largo plazo. Reevaluar la productividad considerando la eficiencia energética y la conservación de recursos

naturales es vital para asegurar un sistema agrícola sostenible y resiliente.

Finalmente, este trabajo pretende dar una mirada diferente sobre la forma en que se concibe la productividad, una visión integral que va más allá del análisis económico tradicional, al considerar también los aspectos energéticos y termodinámicos de la producción agrícola, de modo que se considere una visión más holística, entendiendo no solo los costos económicos, sino también los impactos y la sostenibilidad de largo plazo.

Referencias

- Araque, W. (2014). *Análisis comparativo del balance energético en sistemas de producción de limón tahití en el departamento del Tolima*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Ardila, M., Chacón, O., & Herrán, O. (2014). Consumo dietario y estado de nutrición en población colombiana. *Revista Chilena de Nutrición*, 41(1), 8-16.
- Arellana, I., Guevara, F., Pinto, R., Reyes, L., Hernández, D., & Ley, A. (2016). Caracterización del uso directo del rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) por bovinos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1117-1129.
- Banco de la República de Colombia. (2024, junio 1). Banrep. <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/salarios>
- Berry, H. (1991). *Understanding energy*. World Scientific.
- Cadet-Díaz, S., & Guerrero-Escobar, S. (2018). Factores que determinan los rendimientos de la producción de maíz en México: evidencia del censo agropecuario 2007. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(3), 311-337.

- Centro Internacional Para la Agricultura Tropical & Centro Internacional del Mejoramiento del Maíz y el Trigo. (2019). *Maíz para Colombia, Visión 2030*. CIAT.
- Descubre la Energía. (2023, junio 3). Fuentes de energía, producción, distribución y consumo de energía. <https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/preguntas-y-respuestas/fuentes-de-energia/cual-es-el-consumo-mundial-de-energia/#:~:text=La%20cantidad%20de%20energ%C3%ADa%20que,se%20compra%2C%20vende%20o%20comercializa>
- Faires, V., & Simmang, C. (1999). *Termodinámica*. Limusa.
- Fenalce. (2024, junio 1). Fenalce. <https://fenalce.co/>
- FisicaLab. (2024, junio 1). *Qué es la termodinámica*. <https://www.fisicalab.com/apartado/termodinamica-concepto>
- Fitia. (2024, junio 3). Maíz amarillo genérico. <https://fitia.app/es/calorias-informacion-nutricional/maiz-amarillo-10380/>
- Flaven, C., & Lenssen, N. (1994). *Power surge*. WRI.
- Gabriel, J., & Quemada, M. (2022, marzo 27). Fertilizantes, energía y su impacto en la producción de alimentos. *The Conversations*. <https://theconversation.com/fertilizantes-energia-y-su-impacto-en-la-produccion-de-alimentos-179731>
- Gas País. (2024, junio 5). *Importancia del poder calorífico a la hora de elegir fuentes de energía*. <https://gaspais.com.co/poder-calorifico-del-glp-gn-carbon-diesel/>
- Georgescu-Rougen, N. (1996). *La ley de la entropía y el proceso económico*. Harvard University Press.
- Lafitte, H. (1996, junio 1). *Fisiología del maíz tropical*. FAO. <https://www.fao.org/4/X7650S/x7650s05.htm>
- Marco, I. (2013). Por una agricultura sostenible. Reflexiones desde la economía ecológica y la historia ambiental. *Encrucijadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales*, 30-38.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (1996). Enseñanzas de la revolución verde. *Cumbre Mundial sobre la alimentación*. <https://www.fao.org/4/W2612S/w2612s06.htm>
- Peet, J. (1992). *Energy and the ecological economics of sustainability*. Island Press.
- Semillas.org. (2022, abril 29). *Grupo Semillas Colombia. Una breve historia de los orígenes de la agricultura, la domesticación y la diversidad de los cultivos*. <https://semillas.org.co/apc-aa-files/5d99b-14191c59782eab3da99d8f95126/una-breve-historia-de-los-origenes-de-la-agricultura-la-domesticacion-y-la-diversidad-de-los-cultivos.pdf>
- Sistema de Información de Precios Agropecuarios. (2010). *Costo de producción por hectárea maíz tradicional y tecnificado en Tolima*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- Unidad de Planeación Rural Agropecuaria (UPRA). (2024, junio 1). Evaluaciones agropecuarias municipales. UPRA. <https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva.aspx>