

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE



**“ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA SUSTENTABILIDAD DE
FINCAS PRODUCTORAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL CANTÓN
MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR”**

Presentada por:

CARLOS ALBERTO AMADOR SACOTO

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**

Lima - Perú

2023

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA SUSTENTABILIDAD DE FINCAS PRODUCTORAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	www.cndsca.gob.mx Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unemi.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	insightsociety.org Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE

**“ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA SUSTENTABILIDAD DE
FINCAS PRODUCTORAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL CANTÓN
MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE**

Presentada por:

CARLOS ALBERTO AMADOR SACOTO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Alberto Julca Otiniano
PRESIDENTE

Ph.D. Salomón Helfgott Lerner
ASESOR

Ph.D. Viviana Castro Cepero
MIEMBRO

Dr. Ricardo Borjas Ventura
MIEMBRO

Ph.D. Luz Marina Espinoza Melgar
MIEMBRO EXTERNO

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	5
	2.1. IMPORTANCIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN ECUADOR	5
	2.2. SISTEMAS DE CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL ECUADOR....	6
	2.3. FISIOLÓGÍA Y MORFOLOGÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	7
	2.3.1 Brotamiento.....	7
	2.3.2. Macollaje.....	7
	2.3.3. Crecimiento vegetativo.....	7
	2.3.4. Maduración.....	8
	2.4. FACTORES CLIMÁTICOS PARA EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR	8
	2.4.1. Luminosidad.....	8
	2.4.2. Brillo solar diario.....	8
	2.4.3. Temperatura y pluviosidad	8
	2.5. FACTORES PRODUCTIVOS Y AMBIENTALES DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR	9
	2.5.1 Contaminación del aire por la quema de la caña de azúcar.....	9
	2.5.2. Cosecha de caña de azúcar	10
	2.5.3 La degradación del suelo con el cultivo de caña de azúcar	10
	2.5.4. Mecanización del cultivo de la caña de azúcar.....	11
	2.6. FACTORES ECONÓMICOS DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR	11
	2.6.1. Costos de producción	12
	2.6.2. Precio de la caña en el Ecuador.....	12
	2.6.3. Exportación de azúcar a nivel nacional	12
	2.6.4. Área de caña sembrada a nivel nacional	13
	2.6.5. Producción de caña de azúcar a nivel nacional	13
	2.6.6. Rendimiento de caña de azúcar a nivel nacional	13
	2.6.7. Acceso a financiamiento	14
	2.7. FACTORES Y CARACTERIZACIÓN SOCIAL DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR	14

2.7.1. Superficie sembrada	14
2.7.2. Edad de productores dedicados al cultivo de caña de azúcar	15
2.7.3. Origen de propiedad de terrenos agrícolas	15
2.7.4. Fuentes de empleo	15
2.7.5. Nivel de escolaridad	15
2.8. COSTOS DE PRODUCCIÓN Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE LACAÑA DE AZÚCAR.....	11
2.9.VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR CULTIVADAS EN EL CANTÓN MILAGRO	16
2.9.1. CC01-1228	16
2.9.2. CC85-92	17
2.9.3. ECU-01.....	17
2.9.4. EC-02	17
2.9.5. EC-03	18
2.9.6. EC-04	18
2.9.7. EC-05	18
2.9.8. EC-06	18
2.9.9. EC-07	19
2.9.10. EC-08	19
2.9.11. EC-09	20
2.9.12. Ragnar.....	20
2.10. SISTEMA DE RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA AZÚCAR.....	20
2.10.1 Requerimiento de agua para el cultivo de caña	21
2.10.2. Agoste.....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	23
3.2. METODOLOGÍA	24
3.2.1. Objetivo 1. Caracterización de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro-Guayas, Ecuador.....	24
3.2.2. Objetivo 2. Evaluación de sustentabilidad de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro-Guayas, Ecuador.....	25
3.2.3. Objetivo 3. Análisis histórico varietal del cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, periodo 2012-2021	32

3.2.4. Objetivo 4. Influencia del agoste en la maduración y rendimiento del cultivo de cañade azúcar	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS FINCAS PRODUCTORAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR.....	37
4.2. EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD DE LAS FINCAS PRODUCTORAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR....	47
4.3. ANÁLISIS HISTÓRICO VARIETAL DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL CANTÓN MILAGRO PERIODO 2012-2021	55
4.3.1. Análisis comparativo de cinco años de variedades de caña de azúcar (2017-2021).....	55
4.3.3. Matriz de correlación (2017-2021)	61
4.3.4. Análisis comparativo de variedades de caña de azúcar en el periodo 2012-2021	65
4.3.5. Análisis de Componentes principales de variables por variedades en diez años (2012-2021).....	69
4.4. INFLUENCIA DEL AGOSTE EN LA MADURACIÓN Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR	73
4.4.1. Variables de calidad de la caña	73
4.4.2. Variables agronómicas en caña de azúcar.....	78
V. CONCLUSIONES.....	86
VI. RECOMENDACIONES	87
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
VIII. ANEXOS	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aporte del cultivo de caña de azúcar y sus derivados al PIB del Ecuador.....	5
Tabla 2: Costo promedio ponderado de producción de caña de azúcar en Ecuador(USD/t)	5
Tabla 3: Factores externos e internos que afectan el brotamiento de la caña de azúcar	7
Tabla 4: Ingresos, egresos y utilidad durante cinco cortes de caña de azúcar en Ecuador.	12
Tabla 5: Estructura de costos de producción/ha (%) de la caña de azúcar en el Ecuador, periodo 2016 - 2019	12
Tabla 6: Indicadores económicos de la producción de caña de azúcar en el Ecuador	13
Tabla 7: Subindicadores y variables para medir la sustentabilidad de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, provincia de Guayas, Ecuador	26
Tabla 8: Subindicadores y variables para evaluar la sustentabilidad económica de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Ecuador	28
Tabla 9: Subindicadores y <i>variables</i> para evaluar la sustentabilidad económica de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Ecuador	29
Tabla 10: Subindicadores y <i>variables</i> para evaluar la sustentabilidad económica de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Ecuador.....	30
Tabla 11. Tratamientos en relación con la edad de agoste	33
Tabla 12: Resultados de subindicadores de dimensiones económica, ecológica y social ...	51
Tabla 13: Índice de Sustentabilidad General de caña de azúcar en el cantón Milagro	51
Tabla 14: Área cosechada de las variedades de caña (2017-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	55
Tabla 15: Rendimiento de diversas variedades (2017-2021) en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	56
Tabla 16: Rendimiento de azúcar (N° sacos/ha) obtenidos con diversas variedades (2017- 2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	57
Tabla 17: Edad de corte de diversas variedades (2017-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	58
Tabla 18: Contenido de sacarosa en el jugo en diversas variedades (2017-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	59
Tabla 19: Kilos de azúcar por tonelada de caña en diversas variedades (2017-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	60
Tabla 20: Matriz de correlaciones de variables de variedades de caña (2017-2021).....	63

Tabla 21: Área cosechada de diversas variedades (2012-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	65
Tabla 22: Toneladas cosechadas de diferentes variedades (2012-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	66
Tabla 23: Sacos de azúcar con diversas variedades (2012-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	66
Tabla 24: Edad de corte de diversas variedades (2012-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	67
Tabla 25: Sacarosa en el jugo de diversas variedades (2012-2021)	68
Tabla 26: Kilos de azúcar por tonelada de caña en diversas variedades (2012-2021)	68
Tabla 27: Matriz de correlaciones de variables de variedades de caña (2012-2021)	71
Tabla 28: Comparación del porcentaje de POL caña previo (inicial) y al final del agoste (final)	73
Tabla 29: Comparación de grados Brix jugo entre caña previo (inicial) y fin (final) al agoste	75
Tabla 30: Comparación del porcentaje de pureza en caña previo (inicial) y al final del agoste (final)	76
Tabla 31: Comparación del porcentaje de fibra en caña previo (inicial) y al final del agoste	77
Tabla 32: Comparación del porcentaje de humedad en caña previo (inicial) y al final del agoste	78
Tabla 33: Comparación del diámetro del tallo en caña previo (inicial) y al final del agoste (final)	79
Tabla 34: Comparación del promedio de longitud de entrenudos en caña previo (inicial) y al final del agoste (final)	80
Tabla 35: Comparación del número de entrenudos caña previo (inicial) y al final del agoste (final)	81
Tabla 36: Comparación de la altura de planta previo (inicial) y al final del agoste	82
Tabla 37: Comparación del TCH entre caña previo (inicial) y al final del agoste	83
Tabla 38: Rendimientos en kg/t de azúcar	84
Tabla 39: Promedio de sacos de azúcar por tonelada de caña	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio en la provincia de Guayas, Ecuador	23
Figura 2. Esquema de la distribución de los tratamientos en el campo.....	34
Figura 3. Rubros de gastos de cañicultores del cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	38
Figura 4. Nivel de educación de los cañicultores del cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	39
Figura 5. Instituciones que brindan capacitación a cañicultores del cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador.....	40
Figura 6. Área sembrada por cañicultores del cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador.....	41
Figura 7. Mecanización del cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	41
Figura 8. Número de aplicación de fertilizantes por campaña en el cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	43
Figura 9. Tipo de fertilización, según el origen del fertilizante y/o abono, en el cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	43
Figura 10. Métodos para calcular las dosis de fertilización, en el cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	44
Figura 11. Nivel de incidencia de plagas en caña de azúcar en el Cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador.....	45
Figura 12. Acceso a insumos agrícolas de los cañicultores del Cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	46
Figura 13. Producción promedio de caña/ha en campaña 2020, en el Cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador.....	47
Figura 14. Subindicadores del Indicador Económico (IK).....	48
Figura 15. Subindicadores del Indicador Ecológico (IE)	50
Figura 16. Subindicadores de la dimensión sociocultural	50
Figura 17. Indicadores Económico, Sociocultural y Ecológico de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador	52
Figura 18. Análisis de componentes principales	53
Figura 19. Análisis de conglomerados	54
Figura 20. Análisis de componentes principales durante el periodo 2017-2021.....	62
Figura 21. Análisis de componentes principales periodo de 10 años (2012-2021).....	70

Figura 22. Gráfico de barras del POL inicial y POL final por tratamientos, letras iguales no son estadísticamente significativas	74
Figura 23. Gráfico de barras del BRIX inicial y BRIX final por tratamientos, letras iguales no son estadísticamente significativas	75
Figura 24. Gráfico de barras de la pureza inicial y final por tratamientos, letras iguales no son estadísticamente significativas	76
Figura 25. Gráfico de barras de fibra inicial y final por tratamientos, letras iguales no son estadísticamente significativas	77
Figura 26. Gráfico de barras del porcentaje de humedad inicial y final por tratamientos...	78
Figura 27. Gráfico de barras del diámetro del tallo inicial y final por tratamientos	79
Figura 28. Gráfico de barras de la longitud de entrenudos inicial y final por tratamientos	80
Figura 29. Gráfico de barras para el número de entrenudos inicial y final por tratamientos	81
Figura 30. Gráfico de barras de la altura de planta inicial y final por tratamientos	82
Figura 31. Gráfico de barras de toneladas de caña por hectárea inicial y final por tratamientos.....	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Encuesta	101
-------------------------	-----

RESUMEN

El cultivo de caña de azúcar es uno de los cultivos más importantes de Ecuador, no solamente por su alta producción por año, para obtener azúcar y biocombustibles, sino también porque genera más de 70 mil empleos por año, además del movimiento económico producido por los ingenios azucareros. El área cosechada anualmente varía entre alrededor de 90 mil y 130 mil hectáreas, el 77 por ciento de las cuales se encuentran en la Provincia de Guayas. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general determinar la sustentabilidad de las pequeñas fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayas, situado en el centro sur de la región litoral de Ecuador. La caña de azúcar ocupa cerca del 50 por ciento del área cultivada en el mencionado cantón. Los objetivos específicos fueron caracterizar las fincas productoras de caña de azúcar y determinar su sustentabilidad económica, social y ecológica. Además, se realizó un análisis histórico varietal de los cinco y 10 últimos años de cultivo de caña de azúcar y se determinó la influencia del agoste en la maduración y rendimiento del cultivo. La caracterización de las fincas se realizó mediante encuesta *in situ* a 213 productores de un universo de 422 Unidades de Producción Agropecuaria (UPAs). La sustentabilidad de las UPAs se determinó de acuerdo a la metodología de análisis multicriterio de Sarandón. Se encontró que el mayor porcentaje de cañicultores cuentan con ingresos por encima de los 500 dólares, con edad por encima de los 40 años y que poseen estudios a nivel de bachillerato. Casi la totalidad de los encuestados poseen parcelas propias menores a 20 ha, en las cuales se utiliza riego por gravedad, obteniendo rendimientos promedios de entre 80 a 90 t/ha. El índice de sustentabilidad general es de 1.99, menor al valor de referencia 2 lo que hace que el sistema productivo no sea sustentable. Solamente es sustentable en la dimensión social pero no lo es en las dimensiones económica y ecológica. Las variedades de caña de azúcar de mejor desempeño en el periodo 2012-2021 fueron ECU-01 y EC-02. En relación con el agoste, se determinó que no es necesario regar después del noveno mes de desarrollo ya que los resultados obtenidos con las variables de calidad y agronómicas, no presentaron variabilidad estadística entre tratamientos. En base a los resultados obtenidos, se recomienda promover una agricultura más sostenible con buenas prácticas agrícolas en las zonas cañeras.

Palabras clave: Sostenibilidad, caña de azúcar, Análisis multicriterio, Conservación del agua.

ABSTRACT

Sugarcane is a very important crop in Ecuador, not only for its high production per year, to obtain sugar and biofuels, but also because it generates more than 70,000 jobs per year, in addition to the economic movement produced by sugar mills. The annually harvested area varies between around 90,000 and 130,000 hectares, 77 percent of which are located in the Province of Guayas. This research had as its general objective to determine the sustainability of small sugarcane-producing farms in the canton of Milagro, Guayas, located in the south-central part of the coastal region of Ecuador. Sugarcane occupies about 50 percent of the cultivated area in Guayas. The specific objectives were to characterize the sugarcane-producing farms and to determine their economic, social and ecological sustainability. In addition, a historical varietal analysis of the last five and ten years of sugarcane cultivation was carried out and the influence of agoste (water withdrawal) on the maturation and yield of the crop was determined. The characterization of the farms was carried out through a field survey to 213 producers from a universe of 422 Agricultural Production Units (UPAs). The sustainability of the UPAs was determined according to the Sarandón multi-criteria analysis methodology. It was found that the majority of sugarcane producers have incomes above \$500, are over the age of 40 and have high school studies. Almost all of the respondent's own plots of less than 20 ha, which are irrigated by gravity, obtaining average yields of 80 to 90 t/ha. The general sustainability index is 1.99, lower than the reference value of 2, which makes the productive system non sustainable. It is only sustainable in the social dimension but not in the economic and ecological dimensions. The best performing sugarcane varieties in the period 2012-2021 were ECU-01 and EC-02. Regarding agoste, it was determined that it is not necessary to irrigate after the ninth month of development, since the results obtained with the quality and agronomic variables did not show statistical variability between treatments. Based on the results obtained, it is recommended to promote more sustainable agriculture with good agricultural practices in sugarcane areas.

Keywords: Sustainability, sugar cane, Multicriteria analysis, Water conservation.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de caña de azúcar es uno de los más importantes de Ecuador, no solamente por su alta producción sino también porque genera 74 mil empleos por año, 27 mil de ellos en época de zafra, además del movimiento económico producido por los ingenios azucareros (INEC 2021). En la Provincia de Guayas, Ecuador, los tres cultivos más importantes son el banano, el arroz y la caña de azúcar. Según la Corporación Financiera Nacional (CFN 2020), en el año 2019 se cosecharon 121 812 ha de caña de azúcar, con una producción de 9 257.70 toneladas métricas (t) a nivel país, superando la producción del 2018, en un 19 por ciento.

La provincia de Guayas concentra el 77.6 por ciento del área cosechada, seguida por Cañar con 17 por ciento y Loja con 1.5 por ciento, generando una producción de 11 millones de toneladas métricas. En Guayas es donde históricamente se han afincado los ingenios azucareros más grandes e importantes del Ecuador. El Ingenio Valdez cultiva 20 000 ha de caña de azúcar, representando el 21 por ciento del área total cultivada en Ecuador (94 835 ha) durante el año 2011.

En relación al tamaño de las unidades productivas de caña de azúcar, Rodríguez (2020) señala que, en este sector productivo de los cañicultores, se considera como pequeños productores a aquellos que cuentan con un máximo de 50 ha (80 por ciento), medianos productores aquellos que cuentan de 50 a 200 ha (15 por ciento) y grandes productores con más de 200 ha (5 por ciento). Almeida (2017), menciona que se entiende por sustentabilidad de un cultivo cuando éste es sostenible en el tiempo, que no se agoten los recursos y que mantenga las condiciones ambientales adecuadas.

Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar - CENGICANÑA (2017), plantea que el cultivo de la caña de azúcar debe cumplir con tres requisitos básicos para las mejoras en las prácticas de producción: (i) La producción tiene que ser rentable, (ii) El sistema de manejo debe hacer un uso óptimo de los recursos, minimizando el impacto ambiental y (iii) La producción necesita ser socialmente aceptable.

Esto sugiere que los productores cañeros deben hacer uso inteligente de los recursos disponibles en todo el proceso productivo y agroindustrial, lo cual permitirá lograr así este importante calificativo ecológico-ambiental y seguir perseverando a este cultivo como parte de la alimentación de las futuras generaciones.

La sustentabilidad del cultivo de la caña de azúcar podría peligrar en la provincia del Guayas debido a contaminación del medio ambiente. Por ejemplo, la quema de la caña en la etapa de cosecha afecta a los agricultores vecinos que tienen diferentes cultivos, así como a las poblaciones aledañas a las grandes plantaciones cañeras. La quema previa a la cosecha hace que el humo emitido por esta acción persista por un buen tiempo en la atmósfera y los sólidos producidos quedan en estado de suspensión hasta lograr su total desaparición del ambiente, generando un problema social y ambiental (Carrera 2010). Las personas que son empleadas para el corte del cultivo en tiempo de zafra están de acuerdo con la quema y la poca o nula implementación de nuevos sistemas tecnológicos más limpios, ya que producirían despidos masivos en el campo, causando un gran problema social.

El cultivo de la caña de azúcar es considerado un monocultivo permanente. En los últimos años se ha incrementado la superficie cosechada en Ecuador CFN (2021), lo que ha generado un incremento del consumo de agua y otros recursos (Rico 2019). El deterioro del suelo está siendo causado, entre otros factores, por el tipo de riego (gravedad), lo cual acarrea el uso de grandes láminas de agua por ha y por campaña (10 meses). Por ejemplo, en una investigación del coeficiente de cultivo en caña de azúcar, en el ingenio azucarero de San Carlos con 25 000 ha, parte de las cuales se encuentran en el cantón Marcelino Maridueña, se obtuvo una lámina neta para un sistema de riego por doble surco de 6 716.50 m³/ha en un periodo de riego de 10 meses. Para un sistema de siembra a surco sencillo, se obtuvo 6 699.30 m³/ha; lo cual se considera una eficiencia de aplicación por surco de 50 por ciento, es decir, se estaría usando láminas brutas de riego de 13 433 m³/ha por doble surco (Tenelanda 2017).

Por lo expuesto en el párrafo anterior, se ha planteado después de los análisis técnicos, económicos y ambientales, la implementación del riego por goteo y/o fertirriego. Este tipo de riego en caña es difundido en el mundo ya que permite el ahorro del agua y mejores niveles de productividad (más de 50 t/ha), reduciendo así los niveles de agua de riego en un 30 a 45 por ciento y una disminución en el uso de fertilizantes entre 25 a 30 por ciento.

La falta de conocimiento sobre la evolución de las distintas variedades que se adaptaron en el país generó una pérdida en la producción, tanto en la ganancia en peso en caña como sacos de azúcar para el ingenio. Las nuevas variedades liberadas por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador - CINCAE han permitido que los cañicultores dispongan de mayores y mejores alternativas para la siembra de caña en diversos ambientes de las zonas cañeras de Ecuador, en diferentes tipos de suelo y con varios métodos de cosecha. De acuerdo con CINCAE (2020), entre los años 2011 al 2019, Ecuador ha afianzado el desarrollo de la mejora productiva del sector cañicultor, desarrollando variedades obtenidas en base a material genético del Centro de Tecnología Canavieira de Sao Paulo, Brasil. Las nuevas variedades presentan condiciones de resistencia y adaptabilidad, así como mejoras productivas basadas en rendimientos de sacos de azúcar por hectárea.

Entre las variedades que se han cultivado en Ecuador en los últimos años, se pueden mencionar las siguientes: ECU-01, EC-02, EC-03, EC-04, EC-05, EC-06, EC-07, EC-08, así como otras variedades como la Ragnar de origen australiano y las variedades colombianas CC-8592 y CC01-1228. Otro dato importante se refiere a los avances en investigación desarrollados por el CINCAE en el año 2020 en donde se obtuvo la variedad EC-09, que presenta características de productividad y rendimiento muy buenas.

El análisis histórico varietal del cultivo de caña de azúcar pretende dar a conocer que variedades cultivadas en el cantón Milagro han causado un impacto positivo en el cañicultor y en la industria azucarera. Barrantes (2011) indica que, con el cambio varietal, se ha logrado cambios socioeconómicos de relevancia en los cañicultores y la empresa, al lograrse aumentar las toneladas de caña por ha y los kilos de azúcar por tonelada de caña. La comparación del comportamiento de las variedades ayuda en la toma de decisiones que permitan incrementar la productividad y la rentabilidad del cultivo, contribuyendo a su sustentabilidad.

De otro lado, en el manejo del cultivo de caña de azúcar, el agoste es una práctica usual, pero gran parte de los agricultores desconocen la mejor forma de implementarla. La toma de decisiones sobre la suspensión del riego se practica desconociendo sus consecuencias. La suspensión inoportuna afecta el proceso de maduración, en lo que se refiere a peso y calidad de los jugos, determinando la ganancia o pérdida tanto para el cañicultor como para el ingenio.

Esta investigación se diseñó para evaluar los factores que afectan la sustentabilidad del sistema productivo de caña de azúcar, además de plantear alternativas de manejo que conlleven al incremento de los rendimientos con prácticas más amigables con el ambiente.

El objetivo general de la presente investigación fue:

- Determinar la sustentabilidad de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayas, Ecuador.

Los objetivos específicos fueron:

- Caracterizar las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayas, Ecuador.
- Determinar la sustentabilidad económica, social y ecológica de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayas, Ecuador.
- Efectuar un análisis histórico varietal del cultivo de caña de azúcar, en el cantón Milagro, Guayas, Ecuador.
- Determinar el efecto del agoste en la maduración y rendimiento del cultivo de caña de azúcar.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. IMPORTANCIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN ECUADOR

CINCAE (2017), menciona que el cultivo de caña de azúcar pertenece a una de las industrias que mayor aporte realiza a la innovación, brindando aproximadamente un 8.7 por ciento al PIB Agrícola Nacional. Desde los inicios, los distintos ingenios se esforzaron para aumentar la productividad del cultivo mediante la generación de variedades adaptables a distintas condiciones ambientales. Según lo publicado por el CFN (2020), para el año 2019 el sector cañicultor tenía un promedio de 0.14 por ciento de participación en el PIB del Ecuador como se puede apreciar en la Tabla 1, que muestra que la tasa de variación presenta una decreciente actividad los últimos años.

Tabla 1: Aporte del cultivo de caña de azúcar y sus derivados al PIB del Ecuador

Año	Participación del sector sobre el PIB
2016	0.17 %
2017	0.17 %
2018	0.15 %
2019	0.14 %

Fuente: Corporación Financiera Nacional - CFN (2020).

En la Tabla 2 se aprecia que, en Ecuador, el costo de producción de la tonelada de caña de azúcar va desde USD 26.24 a USD 29.32 (Superintendencia de Control del Poder de Mercado 2021).

Tabla 2: Costo promedio ponderado de producción de caña de azúcar en Ecuador
(USD/t)

Años	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Costo (USD/t)	25.87	26.28	26.24	29.78	28.57	29.32

Fuente: Superintendencia de Control del Poder de Mercado (2021)

2.2. SISTEMAS DE CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL ECUADOR

Helfgott (2016), indica que la caña de azúcar es una gramínea tropical que tiene un tallo que puede ser pequeño con una altura de 2.5 m; mediano de 2.5 m a 3.5 m y alto cuando mide más de 3.5 m de altura. El macollaje puede ser pobre con menos de 10 tallos/cepa; mediano de 10 a 12 tallos/cepa y alto con más de 12 tallos/cepa. Los mejores suelos para lograr un buen desarrollo y altas productividades en el cultivo de caña de azúcar son los suelos franco-arcillosos y con buen drenaje.

Zúñiga (2016), reportó que los suelos ácidos con pH menores a 5.5 no son adecuados debido a la presencia de alto contenido de aluminio (Al), el cual limita la producción. De igual manera, en estos niveles de pH existe la presencia de micronutrientes como el hierro (Fe) y el manganeso (Mn), los cuales pueden producir fitotoxicidad en la planta. Suelos alcalinos con pH mayores de 8 son perjudiciales para el cultivo de caña de azúcar por la excesiva presencia de sodio (Na) intercambiable. Además, estos suelos contienen un alto contenido de carbonato de calcio, que produce fuertes problemas de toxicidad en la planta, inclusive modificando las características físicas del suelo, disminuyendo su porosidad y causando problemas de drenaje y niveles de conductividad hidráulica muy lentos (Possu 2016).

Santacruz (2015), menciona que el cultivo de caña de azúcar da buenos resultados en suelos sueltos, profundos y fértiles. Si se cuenta con riego, se pueden obtener un mejor rendimiento que en un suelo que no se riega. También puede prosperar en suelos marginales arenosos y arcillosos, con buen drenaje, se adapta bien a suelos con un pH de 4.0 a 8.3.

Las condiciones ideales del suelo se pueden ver afectadas por factores externos tales como temperatura, humedad, preparación de suelos y sales del suelo, así como por factores internos tales como hormonas y nutrientes (Helfgott 2016). La preparación del suelo incluye topografía, replanteo, arada, rastreada y surcado a una profundidad entre 0.8 m de base a 0.25 m (Álvarez 2020).

El sistema de siembra generalmente se lo realiza a un distanciamiento de 1.5 metros entre surcos y los esquejes o yemas a doble hilera con traslape (Saltos 2015). El éxito del cultivo de caña de azúcar depende de factores ambientales adecuados tales como luz y temperatura, pero también de la época y densidad de plantación, plan de fertilización, control de plagas y malezas (Duarte y González 2019).

2.3. FISIOLOGÍA Y MORFOLOGÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Helfgott (2016), señala que para un buen manejo agronómico es importante conocer la fisiología del cultivo, ya que permite tomar decisiones de manera oportuna y ayudar a su óptimo desarrollo. La fisiología influye en las diferentes etapas de desarrollo: brotamiento, macollaje, crecimiento vegetativo y maduración.

2.3.1 Brotamiento

Angel (2018) menciona que, en las zonas cañeras de Ecuador, el brotamiento comienza entre la tercera a cuarta semana desde la siembra, siendo influenciado por factores externos e internos como se aprecia en la Tabla 3.

Tabla 3: Factores externos e internos que afectan el brotamiento de la caña de azúcar

Factores externos	Factores internos
Preparación de suelos	Nutrición del esqueje
Siembra	Sanidad del esqueje
Temperatura	Contenido de azúcares
Humedad	Reductores del esqueje

Fuente: Angel (2018).

2.3.2. Macollaje

Es la formación de la cepa mediante el brote de los nuevos tallos, puede ser afectado por variables externas como temperaturas, humedad y profundidad de la siembra. Una profundidad oportuna para que tenga mejor brotamiento es de 6 cm (Barillas 2020). El número de tallos puede ser entre 10 y 12 por metro lineal. Además, la planta es muy exigente en horas sol para la iluminación (Saltos 2015).

2.3.3. Crecimiento vegetativo

En Ecuador, la etapa de crecimiento rápido dura aproximadamente 270 días, llegando su tasa de crecimiento superior a un cm/día y en otros países de la región presentan una elongación de hasta tres cm/día. Los factores que ayudan al crecimiento son la conservación de la humedad y un buen programa de fertilización (Angel 2018).

2.3.4. Maduración

La fase de maduración del cultivo de caña de azúcar empieza unos meses antes de la cosecha, con la formación de la sacarosa, la cual supera el 12 por ciento de conversión de azúcar a escala comercial y los jugos presentan alta concentración de ésta. Para estimular la maduración se necesita que ocurra el estrés hídrico unos 60 días antes de la cosecha, junto con altas horas de sol y bajas temperaturas, lo cual permite disminuir la capacidad de absorción de nutrientes de la planta (Saltos 2015).

2.4. FACTORES CLIMÁTICOS PARA EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR

2.4.1. Luminosidad

La luminosidad o brillo solar es un factor importante para la realización de la fotosíntesis, Ecuador cuenta con un promedio de 2.25 horas de brillo solar lo cual permite la efectiva maduración de la caña y generación de azúcares (Mendoza *et al.* 2018). La radiación total promedio interceptada por un cultivo de caña en un ciclo de crecimiento de 12 meses ha sido estimada en 6 350 MJ/m². La captación de brillo solar por las hojas permite su transformación en energía química, en forma de azúcares. A su vez, por medio de la transpiración, es eliminada una gran cantidad de agua permitiendo de esta manera que la capacidad fotosintética y metabólica aumente. Se estima que el cultivo de caña azúcar es capaz de captar eficientemente alrededor del 5 al 6 por ciento de la radiación solar total generada (Vásquez 2014).

2.4.2. Brillo solar diario

Las horas efectivas de brillo solar promedio en Ecuador son de sólo 2.25 horas/día, debido a factores como nubosidad y precipitaciones (Castillo y Silva 2004).

2.4.3. Temperatura y pluviosidad

La temperatura es el factor de más importancia en lo referente a la maduración de la caña de azúcar ya que influye directamente en la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta. Asimismo, la temperatura es un factor limitante para la absorción de nutrientes como el nitrógeno y potasio ya que la planta tiende a cerrar las vías de acceso de nutrientes como mecanismo de defensa (Vásquez 2014).

La respiración y tasa de fotosíntesis se ven afectadas por influencia de la temperatura, disminuyéndose notablemente a temperaturas mayores a 38 °C, mientras que a temperaturas entre 12 a 14 °C presentan condiciones que favorecen la maduración de la caña de azúcar debido que a temperaturas bajas se presenta una marcada reducción de la tasa de crecimiento vegetativo y aporta al enriquecimiento de azúcar presente en la caña, la cual puede llegar a 14 por ciento de sacarosa, 14 por ciento de fibra y 2 por ciento de productos solubles (Aguilar 2009).

El crecimiento óptimo de la caña de azúcar ocurre con temperaturas de 26 a 30 °C, temperaturas inferiores a 21 °C reducen el crecimiento y promueven la maduración del cultivo (Castillo y Silva 2004).

Los requerimientos de agua para el cultivo de caña de azúcar varían dependiendo de la etapa fenológica del cultivo. Sin embargo, se estima que el cultivo requiere para un óptimo desarrollo, un promedio de entre 1 500 a 2 600 mm/año, distribuidas durante todo el ciclo vegetativo del cultivo (Burgos 2015).

2.5. FACTORES PRODUCTIVOS Y AMBIENTALES DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

2.5.1 Contaminación del aire por la quema de la caña de azúcar

En el Ecuador y a nivel mundial, se ha podido observar que el cultivo de caña de azúcar tiene lugar en un amplio rango de condiciones topográficas y climáticas. Estas condiciones pueden causar un efecto adverso a la hora de la cosecha del producto, ya que en muchas ocasiones son capaces de impedir la libre circulación tanto de maquinarias como de vehículos pesados (Dancé y Sáenz 2016).

Debido a las necesidades del mercado cañicultor por maximizar la productividad y disminuir los requerimientos de mano de obra, se optó por incluir en las prácticas normales la quema de la caña previa a su cosecha. Dicha práctica cultural podía ser realizada de forma tanto manual como mecánica. Por otra parte, dichas prácticas van generando problemas de carácter ambiental, económico tecnológico y social. Por ello, es de vital importancia impulsar la cosecha de caña “cruda o verde” y a su vez emplear tecnologías y metodologías de manejo y uso rentable y sustentable de residuos de cosecha (Núñez *et al.* 2019).

Existen muchas investigaciones a nivel mundial, donde se demuestra la relación entre la contaminación ambiental y la quema de los cultivos de caña de azúcar, con la concentración de partículas, menores a diez micras (PM10). Además, se le relacionó con aumentos de contaminantes (Aroca 2021).

2.5.2. Cosecha de caña de azúcar

Possu (2016) indica que la cosecha de la caña de azúcar en Colombia puede ser manual o mecánica. En ambos casos se practica la quema del cultivo antes de la zafra, con la finalidad de eliminar el follaje, así como distintas malezas que puedan causar molestia en el corte y alzada. Este proceso se puede realizar tanto con máquinas como con personal. La caña es depositada en vagones para su transporte hacia la fábrica. Adicionalmente, se practica la requema para los despojos que permanecen en el cantero. Hay que señalar que en muchas plantaciones de Colombia ya no se realiza la quema antes de la cosecha. Vega y Martínez (2020), mencionan que la práctica de la quema del cultivo ayuda a aumentar la producción y reducir costos.

2.5.3 La degradación del suelo con el cultivo de caña de azúcar

La degradación de los suelos se ha convertido en uno de los problemas más grandes a nivel mundial. Dichos problemas pueden ser ocasionados por el sobrepastoreo, la sobreexplotación agrícola, la deforestación, la sequía y la salinización (Soca *et al.* 2017).

El déficit de nitrógeno total del suelo cañero se debe a ciertas prácticas agronómicas, tales como la mecanización, la quema de cultivos antes de la cosecha y la ausencia de materia orgánica (Armida *et al.* 2020).

Para evitar la degradación de los suelos por materia orgánica, es importante incorporar residuos derivados de la cosecha, lo cual ayudará a conservar la humedad, fertilidad y estructura del suelo. En México, los suelos vertisoles mostraron una disminución de nitrógeno a los 10 años y se estabilizó entre los 20 y 30 años sin conseguir los niveles iniciales. Además, se determinó que el manejo agronómico es indispensable en la aplicación de la fertilización de macro y micronutrientes, siendo indistinto si es origen orgánico o químico para mantener o aumentar los rendimientos y así evitar la degradación de los suelos (Armida *et al.* 2020).

2.5.4. Mecanización del cultivo de la caña de azúcar

La cosecha mecanizada de la caña de azúcar puede ocasionar no solo una baja en la calidad del producto, sino también disminución en el rendimiento obteniendo valores de pérdida de entre el 21 y 25 por ciento obtenido por área debido a que cualquier incremento en la agresividad de los mecanismos de limpieza de las cosechadoras va a influir en pérdidas sustanciales en condiciones adversas de campo (Dávila 2014). Sin embargo, ha existido evolución tecnológica en lo referente a la cosecha de caña de azúcar pasando de una actividad manual a mecanizada con promedio de evolución de un 91 por ciento a partir del año 2016 (CINCAE 2017).

2.6. FACTORES ECONÓMICOS DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El cultivo de caña de azúcar presenta indicadores económicos que exteriorizan la sostenibilidad de los cultivares de caña de azúcar a nivel de Ecuador, tales como costo y capacidad de producción, nivel de ingresos y financiamiento.

Respecto a los costos de producción y rentabilidad del cultivo de la caña de azúcar, Elizalde (2015), indicó que el cultivo de caña de azúcar es un cultivo cuyo sistema de producción puede durar varios años sin necesidad de sembrar de manera anual. La denominación para la caña recién sembrada es “caña planta” y durante los años en adelante “caña soca”. Según reportó el mismo autor, en Ecuador el costo de producción de la tonelada de caña de azúcar estaría por los US\$17.71, correspondiendo el 50 por ciento a costos por fertilización y riego y el 23 por ciento corresponde a gastos por preparación del suelo.

Nicolalde (2014), señaló que la informalidad se hace presente en el cultivo, en especial de los pequeños agricultores en la fabricación artesanal de los derivados de caña de azúcar. El aprovechamiento que se puede obtener del cultivo para producir productos derivados tales como la panela y el alcohol, ayudan a mejorar los ingresos.

La Tabla 4 se detalla los ingresos, egresos y utilidad en un periodo de cinco años.

Tabla 4: Ingresos, egresos y utilidad durante cinco cortes de caña de azúcar en Ecuador

Concepto	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5
Ingresos	\$ 3 066.67	\$ 3 157.75	\$ 3 251.53	\$ 3 348.10	\$ 3 447.54
Egresos	\$ 5 579.61	\$ 1 097.02	\$ 1 129.61	\$ 1 163.16	\$ 1 197.70
Utilidad	-\$ 2 512.95	\$ 2 060.72	\$ 2 121.93	\$ 2 184.95	\$ 2 249.84

Fuente: Iñiguez *et al.* (2018).

2.6.1. Costos de producción

La Tabla 5 muestra la variabilidad de los costos de producción por ha (MAG 2016).

Tabla 5: Estructura de costos de producción/ha (%) de la caña de azúcar en el Ecuador, periodo 2016 - 2019

Indicadores	Años			
	2016	2017	2018	2019
Mano de obra	28	28	31	32
Insumos	41	41	41	21
Mecanización	20	20	18	17
Gastos administrativos	5	5	2	25
Gastos financieros	6	6	8	5

2.6.2. Precio de la caña en el Ecuador

El precio oficial de caña de azúcar en el Ecuador ha sufrido una caída constante a partir del año 2015, según las estadísticas emitidas por el MAG (2016). En el 2015 presentó un promedio de 33.27 dólares por tonelada de caña de azúcar. El pico más bajo fue de 30.47 dólares por tonelada cosechada (MAG 2019) y hubo una ligera recuperación el año 2021 con un valor de 31.70 dólares por tonelada (MAG 2021).

2.6.3. Exportación de azúcar a nivel nacional

Las exportaciones de azúcar desde Ecuador han variado (Tabla 6). Los mejores periodos de exportación fueron los años 2016, 2017 y 2019 (MAG 2021).

Tabla 6: Indicadores económicos de la producción de caña de azúcar en el Ecuador

Indicador	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Precios	\$ 33.27	\$ 32.40	\$ 31.44	\$ 31.67	\$ 30.47	\$ 31.70	\$ 31.70
Exportación	8 285	132 282	84 075	18 527	71 797	21 380	31 726
Área sembrada	102 616	104 661	86 031	88 904	90 211	130 398	139 406
Producción	6 093.24	6 209.51	6 993 861	6 631 096	6 620 206	11 216 167	11 372 505
Rendimiento	83	85	87	88	89	79	87
F. Público	*	1 517.98	1 825 483	2 395 494	5 051 680	5 500 000	800 000
F. Privado	*	26 501.42	31 619 283	29 038 331	29 364 583	*	*

* No se encontraron datos de financiamiento

2.6.4. Área de caña sembrada a nivel nacional

Estadísticas emitidas por el MAG (2021), reportan que en Ecuador hay un promedio de entre 86 031 y 139 406 hectáreas cultivadas con caña de azúcar, las cuales son destinadas tanto a la producción de azúcar como a la elaboración de biocombustibles, siendo uno de los productos con mayor demanda de mano de obra a nivel nacional.

2.6.5. Producción de caña de azúcar a nivel nacional

La producción del cultivo de caña de azúcar se mantuvo constante entre los años 2015 al 2019, con valores que oscilaron entre 6 209 324 y 6 993 861 t/año. En los años 2020 y 2021, la producción alcanzó topes de producción máxima, alcanzando promedios de entre 11 216 167 y 11 372 505, respectivamente, dejando en claro la importancia económica que representa este rubro para el país (MAG 2021).

2.6.6. Rendimiento de caña de azúcar a nivel nacional

Los rendimientos de caña de azúcar a nivel nacional subieron entre los años 2015 al 2019, debido a la introducción de variedades mejoradas, presentando promedios que oscilaron entre 83 a 89 t/ha. Sin embargo, para 2020 y 2021 hubo una disminución en los rendimientos y los promedios fueron de 79.9 t/ha y 87.2 t/ha, respectivamente, tal como se observa en la Tabla 6 (MAG 2021).

2.6.7. Acceso a financiamiento

El acceso a financiamiento público y privado a nivel nacional aporta una alternativa de financiamiento para la explotación agrícola (MAG 2021).

SAGARPA (2015), indica que el rendimiento de un cultivo es consecuencia de la interacción de múltiples variables cuyo tipo, magnitud e intensidad son función de las características del marco físico y socioeconómico de cada terreno o sitio de interés. Por su origen, es factible agruparlas en factores humanos, ambientales y agronómicos.

Helfgott (2016), menciona que existen factores, tanto de campo como de fábrica, que influyen en el sistema de producción. El factor humano afecta positiva o negativamente en la productividad del sistema productivo y, directa o indirectamente promueve o inhibe la inversión de recursos o la aplicación de técnicas agrícolas.

Por ejemplo, la influencia de la política agrícola, el desarrollo del mercado, el otorgamiento y liberación de créditos, la disponibilidad de mano de obra, la volatilidad de los precios de compra y venta de los productos (Dancé y Sáenz 2016).

2.7. FACTORES Y CARACTERIZACIÓN SOCIAL DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

Entre los factores sociales asociados al cultivo de caña de azúcar en Ecuador, se puede mencionar diferentes aspectos, tales como la superficie sembrada, edad de los productores dedicados a este sistema productivo, régimen de propiedad de terrenos, generación de empleo, nivel de escolaridad.

2.7.1. Superficie sembrada

Hubo variaciones considerables a partir del año 2000. En el 2011 hubo 85 000 hectáreas, notándose un incremento lineal hasta el año 2016 que se llegó a 104 661 hectáreas. En el 2017 hubo una disminución considerable de este indicador, decreciendo a 86 051 hectáreas. Pero, desde el año 2018 hasta el 2021, nuevamente hubo un incremento considerable y se ha llegado a 134 406 hectáreas cosechadas a nivel nacional (MAG 2018).

2.7.2. Edad de productores dedicados al cultivo de caña de azúcar

Es posible indicar promedios de 57 años, de los cuales el 92 por ciento son de sexo masculino y tan solo el 8 por ciento pertenecen al sexo femenino (MAG 2021).

2.7.3. Origen de propiedad de terrenos agrícolas

El MAG (2020) indica que alrededor del 98 por ciento de las personas que se dedican a este rubro son dueños del predio, el 1 por ciento son productores que han adquirido derechos por arriendo del predio y el 1 por ciento han adquirido dichos predios por herencia de sus progenitores.

2.7.4. Fuentes de empleo

El sector cañicultor a nivel nacional alberga un promedio de 11 786 personas para el año 2019, de tan solo el 43 por ciento representan a personas con trabajo permanente y el 22 por ciento están ligados de manera eventual a dicho rubro, en tanto que el otro 35 por ciento laboran sin obtener remuneración alguna (MAG 2019).

2.7.5. Nivel de escolaridad

El MAG (2018), reporta que el personal que labora de forma directa e indirecta en la producción de caña de azúcar, un 66 por ciento posee instrucción superior, 16 por ciento han terminado la secundaria, el 16 por ciento afirma haber terminado la primaria, el 1 por ciento presenta instrucción primaria incompleta y el 2 por ciento se encuentra en condiciones de analfabetismo.

Aunque la producción de otros cultivos, diferentes a la caña de azúcar, suelen no ser una alternativa viable para los agricultores que participan en el área de abasto del ingenio, parte de ellos se ven obligados a tener otras actividades remuneradas, lo cual es un reflejo de la situación económica por la que se está atravesando y que las necesidades de alguna manera no se ven plenamente cubiertas con los recursos generados con su producción. Asimismo, se puede indicar que la caña de azúcar es un cultivo que agrupa gran cantidad de socios con la finalidad de acceder a beneficios propios de las asociaciones como son créditos emitidos por el gobierno, regular el mercado de precios, entre otros aspectos (Figuerola *et al.* 2015).

Lara *et al.* (2018), señalaron que la productividad del cultivo puede ser afectada de manera directa por variables tales como la región, edad del cultivo, riego y controles fitosanitarios. Además, es importante la inversión en el sector cañicultor para mejorar las condiciones del cultivo.

Los costos de producción dependen de la cosecha (manual o mecánica), mano de obra no calificada, producción por hectárea, valor agregado que se le da al producto final, venta directa o intermediarios (Núñez *et al.* 2019). Figueroa *et al.* (2015), indican que el rendimiento por hectárea en el cultivo de caña de azúcar se atribuye principalmente al manejo de éste. Los daños al cultivo derivados del medio ambiente, así como los servicios disponibles para el cultivo y los aspectos sociales, educación, vivienda y conectividad, afectan el rendimiento del cultivo. SAGARPA (2015), señala que la agricultura es una actividad muy demandante en cuanto al tiempo que se invierte. Por ello, la dedicación que le brinde el productor al manejo de su terreno forma parte de los requisitos esenciales que deben reunirse para lograr un sistema de producción exitoso.

2.8. VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR CULTIVADAS EN EL CANTÓN MILAGRO

En Ecuador, las variedades más usadas son la CC8592 y EC 02, de acuerdo con la información proporcionada por el CINCAE (2022), las variedades de caña de azúcar cultivadas en el cantón Milagro son introducidas y son las siguientes: ECU-01, EC-02, EC-03, EC-04, EC-05, EC-06, EC-07, EC-08 y EC-09.

Adicional a las variedades antes mencionadas, Vega (2017) indica que en la provincia del Guayas se cultivan otras variedades introducidas como son: CC85-92 y Ragnar. Asimismo, la variedad CC01-1228 (Silva *et al.* 2020).

2.8.1. CC01-1228

La variedad CC01-1228 es origen colombiano (CENICAÑA 2003). Presenta rendimientos muy bajos, su capacidad de macollamiento varía entre ocho y diez tallos por metro lineal, y buena calidad del jugo. Sin embargo, esta variedad resultó bastante susceptible a la mayor parte de las enfermedades conocidas (CINCAE 2020).

2.8.2. CC85-92

Roca (2016), indica que esta variedad también es de origen colombiano del valle del Cauca. Como características generales se puede indicar que presenta buen macollamiento y un 85 por ciento de brotamiento. Otra de las características importantes, es que se desarrolla de forma efectiva hasta los 1 200 metros sobre el nivel del mar y se adapta rápidamente a suelos ácidos con poca saturación.

2.8.3. ECU-01

Se obtuvo mediante el cruzamiento entre la SP81-6215 y la SP80-1816 realizado en el Centro de Tecnología Canavieira (CCT) EN Sao Paulo, Brasil. Tiene como característica un alto porcentaje de brotamiento, superior al 70 por ciento, Entre sus características morfológicas destaca la longitud de los tallos (3.07 a 3.99 metros), crecimiento postrado, entrenudos con presencia de cera y longitudes de 16.4 a 21.2 cm y un diámetro promedio de 2.55 y 3.26 cm. Rinde alrededor de 98.2 t/ha, un promedio de 93.2 kg azúcar/t cosechada, lo que equivale a 9.1 t azúcar/ha producida y un porcentaje de fibra del 13.5 por ciento (CINCAE 2007).

2.8.4. EC-02

Fue seleccionada del cruzamiento entre las variedades V71-51 x SP82-3530, realizado en el Centro de Tecnología Canavieira de Brasil. Luego del análisis en áreas experimentales durante dos ciclos de producción, esta variedad presentó características de adaptabilidad y comportamiento productivo muy similares a la variedad Ragnar, tanto en adaptabilidad como en respuesta al ataque de plagas y enfermedades (Silva *et al.* 2013).

En lo referente a las características agronómicas de esta variedad, Silva *et al.* (2013) indican que puede producir entre 11 y 13 tallos por metro lineal, presenta muy escasa floración, alcanzando un máximo de 20 por ciento.

En cuanto a sus características morfológicas, los tallos llegan a una altura que oscila entre los 3.45 a 3.95 m, un bajo contenido de cera, crecimiento erecto, longitud media de entrenudos entre 12.8 y 18.4 cm, un diámetro medio del tallo entre 2.6 y 3.1 cm. En condiciones de sombra, el tallo puede presentar una coloración que varía de rojiza a amarillenta, según la cantidad de cera que tengan. Las yemas vegetativas son redondeadas y las hojas presentan una coloración verde intensa (Castillo *et al.* 2009).

2.8.5. EC-03

Procede del cruce entre las variedades V71-51 x SP80–1816, realizado en la Estación de Camamú, Brasil, teniendo promedios de rendimientos por hectárea de 92.3 t de caña/ha y 110.3 kg de azúcar/t caña, es decir, rendimientos de 10.1 t azúcar/ha (Castillo y Mendoza 2011).

En lo referente a sus características morfológicas, el tallo presenta una altura que oscila entre 2.7 y 3.4 m de altura, crecimiento erecto, entrenudos de entre 11.0 y 17.7 cm con coloración rojiza en estructuras sometidas a condiciones de sombra. Posee una yema oval y hojas de coloración verde intenso (Castillo y Mendoza 2011).

2.8.6. EC-04

Es el resultado del cruce entre V71-51 x SP82–3530, también realizado en la Estación de Camamú, Brasil. Produce alrededor de 112.8 t caña/ha y 103.3 kg azúcar/t caña lo que representa rendimientos de 11.8 t azúcar/ha. Presenta un tallo de entre 2.5 y 3.4 metros de altura, posee una estructura semirrecta, sus entrenudos presentan escasa serosidad con longitud de entre 12.8 y 18.4 cm y coloración amarillenta, yemas vegetativas redondas y hojas de color verde intenso (Castillo y Mendoza 2011).

2.8.7. EC-05

Se trata de una variedad que proviene del cruce entre las variedades V71-51 x SP85-3877, realizado en Brasil por el Centro de Tecnología Canavieira. Presenta un promedio de entre ocho a 11 tallos por metro lineal y una gran resistencia al volcamiento. Rinde un promedio de 74 t caña/ha y 113.4 kg azúcar/t caña, con un promedio de 167 sacos de azúcar de 50 kg/ha. Los tallos pueden alcanzar entre 3.39 y 4.03 metros de altura, son erectos y con entrenudos con longitud de entre 10.1 a 16.0 cm y diámetros de 2.6 y 3.4 cm. La coloración de los tallos varía entre amarillo, rojizo y verdoso, si son sometidos a condiciones de sombra (Silva *et al.* 2013).

2.8.8. EC-06

También es el resultado del cruce entre variedades V71-51 x SP85-3877, realizado en Brasil por el Centro de Tecnología Canavieira. Silva *et al.* (2013), reportaron que las características agronómicas, morfológicas y de rendimiento son las siguientes:

- Nueve a 14 tallos por metro lineal
- Floración escasa con promedios inferiores al cinco por ciento
- Baja resistencia al volcamiento
- Promedio de producción de 69.5 t de caña/ha
- Un rendimiento promedio de 109.3 kg azúcar/t caña
- Rendimiento de 154 sacos de azúcar de 50 kg/ha.
- Tallo semierecto con altura promedio de entre 3.27 y 3.95 m
- Entrenudos con longitud entre 9.8 y 16.2 y diámetro de entre 2.5 y 3.7 cm
- Yema redondeada
- Hojas de coloración verde intenso

2.8.9. EC-07

Es el resultado del cruce de las variedades SP70-1143 y ROC7, realizado por el Centro de Tecnología Canavieira de Brasil. En lo referente a las características agronómicas, Silva *et al.* (2016), indicaron que esta variedad tiene un potencial de macollamiento de entre ocho a nueve tallos por metro lineal y un escaso índice de floración. Presenta contenidos medios de azúcar, maduración a partir de los 12 meses de edad del cultivo, alcanzando promedios de producción de alrededor de 138 sacos de 50 kg de azúcar/ha. En cuanto a las características morfológicas, presenta tallos de altura media con longitud de 3.0 a 3.8 metros, crecimiento semierecto, con entrenudos cóncavos de capacidad cerosa débil de entre 11 y 18 cm. yemas vegetativas ovadas y hojas de color verde con 4.7 a 6.3 cm de ancho.

2.8.10. EC-08

El EC-08 proviene de un poli cruzamiento de la variedad RB83-5486, realizada en Brasil por el Centro de Tecnología Canavieira. En cuanto a sus características agronómicas, Silva *et al.* (2016) indicaron que muestran un alto índice de macollamiento (10 a 13 tallos por metro lineal), floración máxima del 5 por ciento, promedio de fibra de hasta 12.4 por ciento. La altura promedio de los tallos oscila entre 3.15 a 3.89 metros y son de crecimiento semierecto. Los entrenudos con características conoidales, de serosidad débil, 12.5 a 15.7 cm de longitud y con un diámetro de entre 2.4 a 2.9 cm, produce hasta 246 sacos de 50 kg de azúcar/t de caña, superando los rendimientos obtenidos por las anteriores variedades EC.

2.8.11. EC-09

Proviene del cruce entre las variedades Co 421 x Co 270, habiendo sido obtenida por el CINCAE, en Ecuador. Según Silva *et al.* (2020), presenta las siguientes características:

- Tallos de altura media entre 3.31 y 4.06 metros de altura
- Tallos semierectos
- Entrenudos cóncavos y convexos con serosidad media, con longitud que oscila entre 14 y 20.8 cm y con un diámetro de entre 2.2 a 2.9 cm, coloración púrpura amarillento en ausencia de radiación solar
- Yemas de forma rectangular
- Hojas de coloración verde intensa
- Entre 14.4 y 15.7 por ciento de fibra
- Rendimiento promedio de 162.63 sacos de azúcar/ha

2.8.12. RAGNAR

Es una variedad de origen australiano. Roca (2016), mencionó que genera 10 a 12 tallos por metro lineal. Sin embargo, su capacidad de crecimiento no es equilibrada siendo que todos los tallos no se desarrollan de la misma forma. Es una de las variedades más usadas en la zona a pesar de presentar un porcentaje de brotamiento de tan solo 65 por ciento. Entre sus características morfológicas, los tallos crecen un promedio de 3.5 metros, con diámetro de 2.6 a 3.5 cm y buena calidad de los jugos.

2.9. SISTEMA DE RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA AZÚCAR

El cultivo de caña de azúcar es un cultivo de gran importancia para zonas costeras y zonas bajas, pero requiere de una gran cantidad de agua, dejando una enorme huella hídrica e impacto negativo en los ecosistemas del país (Contreras 2009).

Uno de los principales factores, causantes del consumo excesivo de agua, es la no implementación de tecnologías modernas y más eficientes en la dosificación y aprovechamiento de este recurso sino más bien continúan con sistemas de irrigación antiguos, siendo los pequeños productores los que más propensos a continuar en esa situación (Blacio 2017).

2.9.1 Requerimiento de agua para el cultivo de caña

Teniendo en cuenta el grado de aprovechamiento del aspecto hídrico, basado en la eficiencia de diversos sistemas de riego empleados en el cultivo de caña de azúcar, Burgos (2015), indicó que el agua administrada mediante riego por gravedad, tan solo es aprovechada en un 40 por ciento, mientras que, para el caso de sistemas de riego por aspersión, el nivel de aprovechamiento del recurso hídrico es de un 70 por ciento.

En lo referente a respuesta de la caña de azúcar al déficit hídrico, se estima que posee la capacidad de soportar un promedio de 45-60 días antes de la cosecha sin irrigación, a partir del cual las plantas entran en un proceso de estrés extremadamente alto, lo cual se ve reflejado directamente en la producción de t caña/ha (TCH), Los intervalos de riego deben estar sujetos a las condiciones edáficas y medioambientales de la zona (Maposita y Mora 2018).

Según Aguilar (2009), el cultivo de caña de azúcar requiere alta radiación solar y una etapa calurosa larga ya que la planta requiere de entre 148 a 300 gramos de agua para lograr producir un gramo de materia seca.

La correcta dosificación de riego en el cultivo de caña, aporta a una mayor producción local se ve reflejado en la rentabilidad. Sin embargo, en etapas de maduración alrededor de los nueve meses se deberá ir reduciendo la cantidad de agua para obtener una mejor calidad de jugos ayudando a maximizar el porcentaje de azúcar.

2.10.2. Agosto

Helfgott (2016) y Dolores y Diestra (2011), señalaron que el agoste consiste en la suspensión del riego en el cultivo en la etapa de maduración, con la finalidad de reducir el crecimiento y permitir la acumulación de una mayor cantidad de sacarosa en los tallos de las plantas.

Larrahondo y Villegas (1995) indicaron que, en las condiciones de Colombia, a partir de los 9 a 10 meses, las plantas entran en su etapa de maduración por lo que se deberá suspender los riegos para obtener un jugo de alta calidad. En esta etapa, las plantas requieren una menor cantidad de agua, generando una disminución progresiva del crecimiento y de la humedad del tallo, una mayor concentración de sacarosa y mayor valor de grados brix. Los azúcares reductores (glucosa y fructosa) disminuyen y la sacarosa aumenta.

Méndez (2012), reportó que una interrupción del riego a los 75 días antes del corte de la caña produce jugos con las siguientes características: 86.05 por ciento de pureza, 11.83 por ciento de sacarosa, 13.69 por ciento °brix, 12.70 por ciento de fibra y 0.47 por ciento de azúcares reductores. Suprimir el riego entre los 45 a 60 días antes del corte genera una mejor calidad de los jugos.

Según lo indicado por Helfgott (2016), el riego de agoste es el último que se aplica al cultivo de caña en el transcurso de su periodo vegetativo Se recomienda distanciar la frecuencia de riego y disminuir los volúmenes de agua hasta llegar al último riego.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La investigación se realizó en el cantón Milagro, situado en el centro sur de la región litoral de Ecuador, en una extensa llanura atravesada por el río Milagro, a una altitud media de 11 msnm, con un clima tropical húmedo de 25 °C y precipitación de 1 361 mm como se aprecia en la Figura 1. Actualmente en el cantón Milagro, la caña de azúcar ocupa cerca del 50 por ciento del área cultivada.

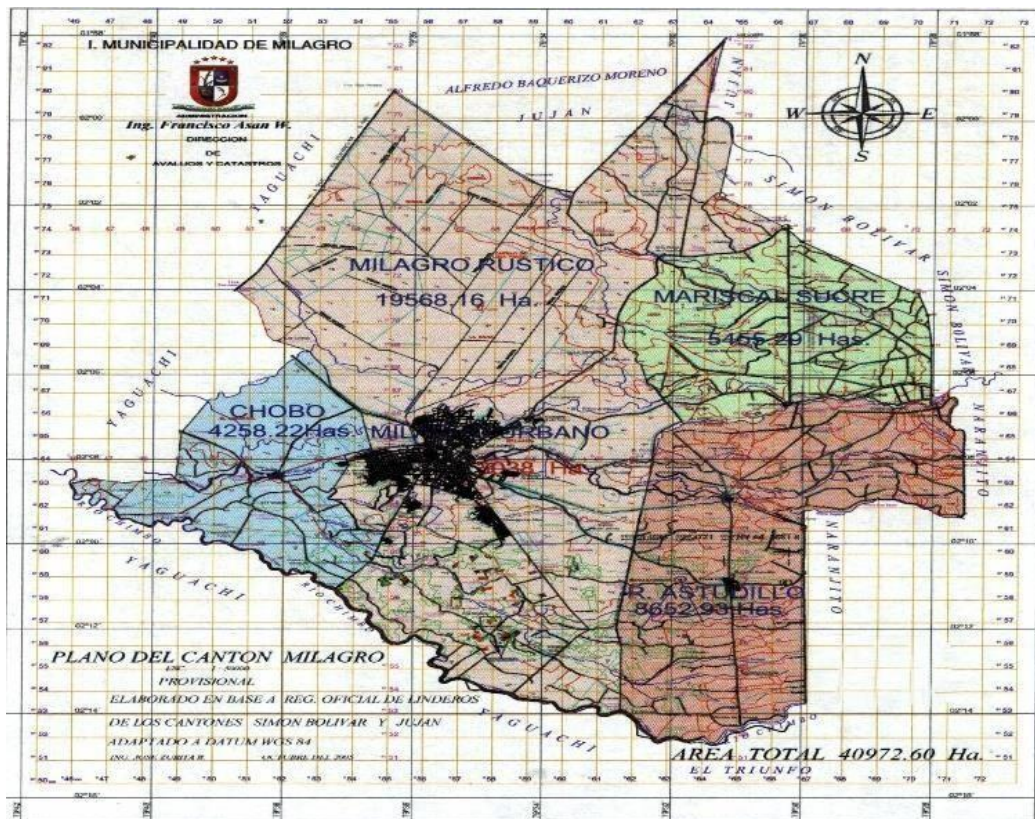


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio en la provincia de Guayas, Ecuador

3.2. METODOLOGÍA

La investigación fue descriptiva, explicativa, analítica y experimental.

3.2.1. Caracterización de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayas, Ecuador

Para la caracterización y tipificación de los sistemas de producción de caña de azúcar se tuvo una población de 422 Unidades de Producción Agropecuaria (UPAs) de caña de azúcar declaradas en el cantón Milagro; dirigidas a productores y agricultores con experiencia y conocimiento en la producción de caña de azúcar, de la cual se tomó una muestra de 213 UPAs, mediante la fórmula de Collantes y Rodríguez (2015):

$$n = \frac{\frac{4PQ}{d^2}}{\frac{4PQ}{d^2} - 1 + \frac{d^2}{N} + 1}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Población objeto

P = Proporción de la población que cumple una condición (0.05)

Q = (1-P), proporción de la población que no cumple la condición (0.95)

d = porcentaje de error (0.10).

La caracterización de las fincas de producción de caña de azúcar se llevó a cabo aplicando encuestas (Anexo 1) *in situ* a productores del sistema evaluado. La encuesta se desarrolló en función de la realidad socioeconómica de la zona en estudio. Antes de realizar la encuesta a los agricultores, se brindó una charla explicando los objetivos del proyecto.

La tipificación de las fincas productoras de caña, se realizó mediante un análisis multivariado, específicamente de conglomerados por el Método de Ward. El proceso de agrupación en sí mismo contiene tres pasos distintivos:

- a. Calcular la matriz de disimilitud. Es posiblemente la decisión más importante en la agrupación, y todos los pasos posteriores se basarán en esta matriz
- b. Elegir el método de agrupamiento
- c. Evaluación de clústeres

La matriz de disimilitud fue calculada en base a los resultados tabulados de la encuesta utilizando la distancia euclidiana (Cadena 2021):

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}$$

Donde:

p, q son dos puntos en el espacio n euclidiano,

q_i, p_i son los vectores euclidianos, comenzando en el punto de origen inicial (punto inicial); y n es el número total de observaciones en el n euclidiano.

Finalmente, los resultados del clúster o conglomerado, se graficaron con un dendrograma. Todos los cálculos fueron realizados con los paquetes base del software estadístico R.

El análisis de sustentabilidad de los sistemas de producción de caña de azúcar se realizó mediante la aplicación de una encuesta tomando como población objetivo las mismas 422 unidades de producción de caña de azúcar en el cantón Milagro del objetivo anterior de caracterización, con un equipo de dos personas desde el mes de mayo hasta septiembre del 2022. El tamaño de la muestra aleatoria se determinó con la misma fórmula muestral utilizada por Collantes y Rodríguez (2015), realizándose 213 encuestas (Anexo 2).

3.2.2. Evaluación de sustentabilidad de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro-Guayas, Ecuador

El análisis de sustentabilidad se realizó siguiendo la metodología de “Análisis Multicriterio” (Sarandón *et al.* 2006), evaluando las dimensiones económica, ambiental y social, con ciertas modificaciones requeridas para el caso específico del presente estudio. Cada variable tuvo un valor de 0 a 4, donde 0 es menos sustentable y 4 más sustentable (Tabla 7).

Tabla 7: Subindicadores y variables para medir la sustentabilidad de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, provincia de Guayas, Ecuador

A. DIMENSIÓN ECONÓMICA (IK)	
Sub indicador	A. Autosuficiencia alimentaria
Variable	A1. Diversificación de la producción
	A2. Superficie de producción de autoconsumo
Sub indicador	B. Ingreso neto mensual
Variable	B1. Ingreso neto mensual por grupo familiar
Sub indicador	C. Riesgo económico
Variable	C1. Diversificación para la venta
	C2. Número de vías para comercialización
	C3. Dependencia de insumos externos
	C4. Superficie destinada al cultivo
	C5. Productividad (t/ha)
	C6. Acceso a crédito
B. DIMENSIÓN SOCIAL (IS)	
Sub indicador	A. Satisfacción de necesidades básicas
Variable	A1. Vivienda
	A2. Acceso a la educación
	A3. Acceso a salud y cobertura sanitaria
	A4. Servicios
Sub indicador	B. Aceptabilidad del sistema de producción
Variable	B1. Satisfacción del productor
Sub indicador	C. Integración Social
Variable	C1. Relación con otros miembros de la comunidad
Sub indicador	D. Conocimiento y conciencia ecológica
Variable	D1. Conocimiento y conciencia ecológica
C. DIMENSIÓN ECOLÓGICA (IE)	
Sub indicador	A. Conservación de la vida del suelo
Variable	A1. Manejo de la cobertura vegetal
	A2. Rotación de cultivos
	A3. Diversificación de cultivos
Sub indicador	B. Degradación del suelo
	B1. Cobertura vegetal
Sub indicador	C. Manejo de la biodiversidad
Variable	C1. Biodiversidad temporal
	C2. Biodiversidad especial

<<Continuación...>>

Sub indicador	D. Nutrición de cultivos
Variable	D1. Métodos de fertilización
	D2. Aplicación de fertilizantes
Sub indicador	E. Factores de degradación
Variable	E1. Tipo de riego
	E2. Prácticas de labranza
	E3. Quema del cultivo

Los subindicadores de la dimensión económica se evaluaron en función de escalas de cero a cuatro, con los diferentes niveles de cada variable, para el análisis de sustentabilidad y contribuir al cálculo del Indicador económico (IK). La cual se desarrolló mediante la metodología de “Análisis multicriterio”, las escalas se adaptaron a la realidad del cultivo y zona de estudio (Tabla 8).

En la dimensión ecológica, se evaluó también mediante escalas de cero a cuatro, los diferentes niveles de cada variable para el análisis de sustentabilidad y contribuir al cálculo del Indicador ecológico (IK). Las escalas de los subindicadores de la dimensión ecológica (Tabla 9).

La dimensión social se evaluó también mediante escalas de cero a cuatro. Los diferentes niveles de cada variable permitieron evaluar la sustentabilidad social y contribuir al cálculo del Indicador social (IS). Las escalas de los subindicadores de la dimensión social (Tabla 10).

Tabla 8: Subindicadores y variables para evaluar la sustentabilidad económica de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Ecuador

Valoración	A. Autosuficiencia alimentaria		B. Ingreso neto mensual	C. Riesgo económico					
	A1. Diversificación de la Producción	A2. Superficie de producción de autoconsumo (ha)	B1. Ingreso neto mensual por grupo familiar (\$)	C1. Diversificación para la venta	C2. Número de vías de comercialización	C3. Dependencia de insumos externos	C4. Superficie destinada al cultivo (ha)	C5. Productividad (t/ha)	C6. Acceso a crédito (fuentes)
	4	> de 9 productos	≥ 1	≥ de 500	≥ 5 productos	≥ 5 canales	0 a 20 %	≥ 50	≥ 100
3	de 7 a 9	0.8-0.9	400-500	4 productos	4 canales	20 a 40 %	31-40	91-100	3
2	de 3 a 5	0.5-0.7	300-400	3 productos	3 canales	40 a 60 %	21-30	81-90	2
1	de 2 a 3	0.2-0.4	200-300	2 productos	2 canales	60 a 80 %	11-20	71-80	1
0	< de 2 productos	≤ 0.1	≤ 200	≤ 1 producto	≤ 1 canal	80 a 100 %	≤ 10	≤ 70	0

Fórmula de IK:
$$IK = \frac{\frac{A1 + A2}{2} + B1 + \frac{C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6}{6}}{3}$$

Tabla 9: Subindicadores y variables para evaluar la sustentabilidad económica de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Ecuador

Valoración	A. Conservación de la vida del suelo			B. Degradación del suelo	C. Manejo de la biodiversidad		D. Nutrición de cultivos		E. Factores de degradación		
	A1. Manejo de cobertura vegetal (Porcentaje)	A2. Rotación de cultivos	A3. Diversificación de cultivos	B1. Cobertura vegetal (Porcentaje)	C1. Biodiversidad temporal	C2. Biodiversidad espacial	D1. Métodos de fertilización	D2. Aplicación de fertilizantes	E1. Tipo de riego	E2. Prácticas de labranza	E3. Quema del cultivo
	4	100	Rota los cultivos todos los años/Deja descansar un año el lote/incorpora leguminosas o abonos verdes	Establecimiento totalmente diversificado, con asociaciones de cultivos y con vegetación natural	100	Rota todos los años. Deja descansar un año el potrero o incorpora leguminosas o abonos verdes	Establecimiento totalmente diversificado, con asociaciones entre ellos y con vegetación natural	Sigue métodos técnicos y análisis de suelo	Emplea 100 % insumos orgánicos	Goteo	100 % Mecanización
3	75 a 99	Rota todos los años. No deja descansar el suelo	Alta diversificación de cultivos, con asociación media entre ellos	75 a 99	Rota todos los años. No deja descansar el suelo	Alta diversificación de cultivos con media asociación entre ellos	Sigue recomendaciones técnicas	Emplea 25 % fertilizantes químicos con 75 % de insumos orgánicos	Aspersión	75 % mecanización con 25 % manual	Cosecha con quema, pero no quema después de la zafra
2	50 a 75	Rota cada 2 ó 3 años	Diversificación media, con muy bajo nivel de asociación entre ellos	50 a 74	Rota cada 2 ó 3 años	Diversificación media, con muy bajo nivel de asociación entre ellos	Según el análisis de suelo	Emplea 50 % fertilizantes químicos con 50 % de insumos orgánicos	Pivote	50 % mecanización con 50 % manual	Cosecha en verde, pero quema después de la zafra
1	25 - 50	Realiza rotaciones eventualmente	Poca diversificación de cultivos, sin asociaciones	25 a 49	Realiza rotaciones eventualmente	Poca diversificación de cultivos, sin asociaciones	Por presupuesto	Emplea 75 % fertilizante químicos con 25 % insumos orgánicos	Surcos	25 % mecanización con 75 % manual	Cosecha en verde, y no quema después de la zafra
0	< 25	No realiza rotaciones.	Monocultivo	0 a 24	No realiza rotaciones	Monocultivo	Métodos tradicionales	Emplea 100 % fertilizantes químicos	No riego	100 % Manual	Cosecha en verde, pero no quema después de la zafra

$$\text{Fórmula de IE: } IE = \frac{\frac{A1 + A2 + A3}{3} + B1 + \frac{C1 + C2}{2} + \frac{D1 + D2}{2} + \frac{E1 + E2 + E3}{3}}{5}$$

Tabla 10: Subindicadores y variables para evaluar la sustentabilidad económica de las fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Ecuador

Valoración	A. Satisfacción de necesidades básicas				B. Aceptabilidad del sistema de producción	C. Integración social	D. Conocimiento y conciencia ecológica
	A1. Vivienda	A1. Acceso a la educación	A3. Acceso a salud y cobertura sanitaria	A4. Servicios	B1. Satisfacción del productor con su sistema productivo	C1. Relación con otros miembros de la comunidad	D1. Conocimiento y conciencia ecológica para conservación
4	De material terminada. Muy buena.	Acceso a educación superior y/ o cursos de capacitación	Centro sanitario con médicos permanentes e infraestructura adecuada	Instalación completa de agua, luz y teléfono cercano	Está muy contento con lo que hace. No haría otra actividad, aunque ésta le reporte más ingresos	Muy alta	Concibe la ecología desde una visión amplia, más allá de su finca y conoce sus fundamentos
3	De material terminada. Buena.	Acceso a escuela secundaria	Centro sanitario con personal temporario medianamente equipado	Instalación de agua y luz	Está contento, pero antes le iba mucho mejor	Alta	Tiene un conocimiento de la ecología desde su práctica cotidiana. Sus conocimientos se reducen a la finca con el no uso de agroquímicos más prácticas conservacionistas
2	Regular. Sin terminar o deteriorada.	Acceso a la escuela primaria y secundaria con restricciones	Centro sanitario mal equipado y personal temporario	Instalación de luz y agua de pozo	No está del todo satisfecho. Se queda porque es lo único que sabe hacer	Media	Tiene sólo una visión parcializada de la ecología. Tiene la sensación que algunas prácticas pueden estar perjudicando al medio ambiente

<<Continuación...>>

1	Mala. Sin terminar, deteriorada, piso de tierra	Acceso a la escuela primaria	Centro sanitario mal equipado y sin personal idóneo	Sin instalación de luz y agua de pozo cercano	Poco satisfecho con esta forma de vida. Anhela vivir en la ciudad y ocuparse de otra actividad	Baja	No presenta un conocimiento ecológico ni percibe las consecuencias que pueden ocasionar algunas prácticas. Pero utiliza prácticas de bajos insumos.
0	Muy mala	Sin acceso a la educación	Sin centro sanitario	Sin luz y sin fuente de agua cercana	Está desilusionado con la vida que lleva, no lo haría más. Está esperando que se le presente una oportunidad para dejar la producción.	Nula	Sin ningún tipo de conciencia ecológica. Realiza una práctica agresiva al medio por causa de este desconocimiento.

Fórmula de IS:
$$IS = \frac{\frac{A1 + A2 + A3 + A4}{4} + B1 + C1 + D1}{4}$$

Finalmente, para el cálculo del Índice de Sustentabilidad General (ISG) se empleó la fórmula siguiente:

$$\text{ISG} = \frac{\text{IK} + \text{IE} + \text{IS}}{3}$$

3.2.3. Análisis histórico varietal del cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, periodo 2012-2021

Los datos de producción del cultivo de caña de azúcar se obtuvieron del CINCAE y del Ingenio Azucarero Valdez del cantón Milagro, tomando como referencia: área cosechada (ha), número de sacos de azúcar por ha, valor de pol, producción en t/ha. Se aplicaron herramientas de estadística descriptiva como la media, varianza y desviación en las diferentes variables para hacer una caracterización de las variedades de caña de azúcar más utilizadas en el cantón Milagro. Asimismo, se utilizaron coeficientes de correlación de Pearson para hallar correlaciones positivas y negativas; y bajas, moderadas, altas y muy altas. Por su parte, también se aplicó un análisis de componentes principales para apreciar gráficamente la cercanía entre variables.

Los datos históricos de precipitación, temperatura, humedad relativa y heliofanía se obtuvieron de la estación meteorológica del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) y la Universidad Agraria del Ecuador. Mediante el análisis de las diferentes variables, se determinó cuál o cuáles son las variedades que mejor se comportan agrónomicamente en TCH, así como en sacarosa bajo las condiciones edafoclimáticas del sector de estudio y así lograr determinar la sustentabilidad del cultivo.

Todos los materiales que se evaluaron presentan características de tolerancia a las principales enfermedades que afectan al cultivo, siendo el CINCAE uno de los organismos encargados de evaluarlo.

Se llevó a cabo un análisis de correlación entre cada una de las variables a evaluar con la finalidad de conocer el impacto o influencia que tienen entre sí. Asimismo, se determinó cuál de las variables representadas mediante una nube de puntos tiene influencia sobre las otras.

3.2.4. Efecto del agoste en la maduración y rendimiento del cultivo de cañade azúcar

El ensayo se realizó en un cultivo de caña variedad CC-8592, de nueve meses de edad, empezando el 20 de abril, saliendo de la época lluviosa. Se regó suplementariamente por gravedad con aproximadamente 1 600 m³/ha con una frecuencia de 15 días hasta los 9 meses de cultivo. Las parcelas experimentales tuvieron seis surcos por 100 metros de largo y 1.5m entre surcos.

Para este estudio, se siguió la metodología empleada por Salgado *et al.* (2016), para trabajos similares. Se aplicaron cinco tratamientos, T1, T2, T3, T4, y T5, en el rango de 9 a 11 meses de cultivo de la caña de azúcar, lo que implicó agostar a 90, 75, 60, 45 y 30 días previo a la cosecha. Los tratamientos se aprecian en la Tabla 11.

Tabla 11. Tratamientos en relación con la edad de agoste

Tratamientos	Edad	Días antes de la zafra (agoste)
T1	9.0	20/04/2021
T2	9.5	05/05/2021
T3	10.0	20/05/2021
T4	10.5	04/06/2021
T5	11.0	19/06/2021

El ensayo fue de tipo experimental realizando un muestreo en campo agrícola ubicado en el cantón Milagro, donde se evaluaron características agronómicas como peso, diámetro y altura del tallo, rendimiento expresado en toneladas de azúcar por hectárea, sacos de azúcar por tonelada de caña, y análisis en el CINCAE para determinar pol, brix, KTC, entre otros. Asimismo, las parcelas de estudio pertenecientes al experimento fueron distribuidos en un diseño de Bloques Completamente Aleatorio, con cuatro repeticiones. La distribución de las parcelas experimentales se muestra en la Figura 2.

B1					B2					B3					B4				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T2	T5	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T5	T3	T1	T2	T5	T4	T4	T3	T5	T2	T1

Figura 2. Esquema de la distribución de los tratamientos en el campo

A continuación, se mencionan las variables evaluadas en la investigación:

a. Variables de calidad

Para el análisis de las variables de calidad, estas fueron determinadas tomando muestras al azar de cada unidad experimental a los 9; 9,5; 10; 10,5; 11 meses de edad del cultivo. Cada muestra consistió en diez tallos primarios, secundarios y terciarios, sin considerar “chupones” (brotes). Los tallos se llevaron al laboratorio de química del CINCAE, para determinar los parámetros relacionados con la calidad de jugos.

La metodología de análisis implica el secado de la muestra en una estufa con circulación de aire a 105 °C. Para el análisis de caña de azúcar se empleó el método de la prensa para desfibrar los tallos de caña y extraer el jugo, a partir del jugo extraído se determina porcentualmente el °Pol (método polarímetro), humedad, fibra (método gravimétrico), la pureza se obtiene de la relación °Pol/brix multiplicado por 100 (CINCAE 2023).

b. Variables agronómicas

Se determinaron en las muestras tomadas en cada unidad experimental, siguiéndose las recomendaciones del CINCAE y la Empresa Azucarera Valdez, basadas en la metodología del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICANA 2014, 2017), que consiste en tomar 10 muestras al azar en los cuatros surcos centrales de cada parcela. Cada muestra consistió de los tallos presentes en un metro lineal.

Cada tallo se midió con un flexómetro, desde ras del suelo hasta la primera lígula visible, con la finalidad de estimar la altura de la planta. Asimismo, se midió con un escalímetro en los extremos y en la parte media del tallo para determinar el diámetro. Para el número de entrenudos se consideró desde la base del tallo hasta el inicio del cogollo y con un flexómetro se midió la longitud del entrenudo desde la base donde termina un nudo y empieza el siguiente nudo. Se cortaron los tallos en dos partes y se determinó el peso utilizando una balanza electrónica y la fórmula que permitió obtener el valor de TCH. Las variables del ensayo fueron las siguientes:

- **Brotos por metro lineal.** En 10 metros lineales de uno de los dos surcos centrales, se contaron los tallos primarios, secundarios y otros (chupones/mamones).
- **Diámetro del tallo.** Se utilizó un calibrador para tener las medidas de los tallos primarios, secundarios y los chupones, en 10 metros lineales de caña.
- **Altura del tallo y tamaño y número de entrenudos.** En 10 metros lineales, se midió con una cinta métrica cada tallo, desde su base hasta la última lígula visible. Asimismo, en cada tallo primario se midió el tamaño y el número de entrenudos.
- **Precosecha.** En las parcelas de cada tratamiento, se tomó muestras *in situ* para evaluar las variables brix, pol y pureza a los 9; 9,5; 10; 10,5 y 11 meses de edad, luego de darse el último riego. Cada muestra consistió en una cepa completa del centro de cada parcela. Se eliminó los cogollos y los tallos a lo largo de un machete y se pesaron antes de enviarlos al CINCAE, para el análisis de los jugos. Los datos obtenidos permitieron realizar una línea base (inicial, intermedio y final) de las tres variables.
- **Porcentaje de despoblación.** - El porcentaje de despoblación fue obtenido sumando las áreas sin cubierta vegetal de caña de azúcar mediante la siguiente fórmula:

$$Pd = \frac{\sum desp * 100}{Lp}$$

Donde:

$\Sigma desp$ = suma de áreas de despoblación

Lp = longitud de la parcela

- **TCH sin despoblación.** Se tomó en cuenta tanto la longitud de los tallos como el peso unitario de cada tallo por la constante de superficie efectiva cultivada para 1000 kg. Se calcula de la siguiente manera:

$$\mathbf{TCH = \frac{(Nt * Pt) * S}{1000}}$$

Donde:

Nt= número de tallos por metro lineal

Pt= peso unitario de un tallo

S= constante de superficie efectiva (6666,67 metros lineales)

Constante 1000 kg

- **TCH con despoblación.** Se tomó como referencia el TCH sin despoblación, con la siguiente fórmula:

$$\mathbf{\frac{TCHs - (TCHs * Pd)}{100}}$$

Donde:

TCHs= TCH sin despoblación

Pd= Porcentaje de despoblación

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS FINCAS PRODUCTORAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR

El 60 por ciento de los productores reportaron tener un nivel de ingreso promedio mensual por encima de los 500 dólares americanos, un 25 por ciento entre 400 y 500 dólares, el 8 por ciento entre 300 y 400 dólares, el 4 por ciento de 200 a 300 dólares, y sólo el 2 por ciento menos de 200 dólares mensuales. Sobre el particular, Segura (2021) indicó que el 83 por ciento de los cañicultores del recinto San José del Cantón Naranjito en la provincia de Guayas, reportaron tener ingresos suficientes de la caña de azúcar, y un 17 por ciento que no. Al comparar los resultados obtenidos con los ingresos de referencia sugerido por El Ministerio de Inclusión Económica y Social – MIES (2022), se establece el salario básico unificado (SBU) para trabajadores agrícolas en 425 dólares. Partiendo de esta perspectiva, se estima que alrededor del 60 por ciento de los cañicultores sobrepasan el SBU, mientras que el 25 por ciento de los cañicultores de la zona de Milagro alcanzan el SBU. Finalmente, el 15 por ciento presenta ingresos por debajo del SBU en el Ecuador.

Respecto a la edad, el 56 por ciento de cañicultores está en el rango de 41 a 60 años, un 24 por ciento reportó tener más de 60 años, el 19 por ciento de 26 a 40 años y sólo el 1 por ciento entre 18 a 25 años, lo que refleja el proceso de envejecimiento de las zonas rurales y consecuentemente la migración de la población joven a las ciudades. Al respecto, Valle *et al.* (2021) reportaron que el rango de edad más recurrente entre cañicultores de la provincia de Pastaza en Ecuador fue de 51 a 70 años. Por su parte, Segura (2021), halló que el 48 por ciento de los cañicultores del recinto San José del Cantón Naranjito en la provincia de Guayas tenían entre 50 y 59 años y 15 por ciento más de 60 años.

Por otro lado, se evidencia que los egresos de los agricultores se destinaron a vestimenta 51 por ciento, educación 20 por ciento, salud 11 por ciento, alimentación 7 por ciento, y otros 12 por ciento (Figura 3). En este tema, Ortiz (2016), reportó la existencia de necesidades insatisfechas entre los cañicultores de la parroquia Malacatos, provincia de Loja, Ecuador.

Por otra parte, el Sistemas de Información Pública Agropecuaria - SIPA (2023) establece que la edad promedio de los agricultores productores de caña de azúcar en el Ecuador oscila entre los 56 años, coincidiendo con los rangos encontrados en el presente trabajo de investigación.

De acuerdo al índice de gastos de recursos, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC (2013) establece que a nivel nacional los ecuatorianos destinan alrededor del 24.4 por ciento de los ingresos a alimentación, 14.6 por ciento a transporte, 7.5 por ciento a salud, el 4.4 por ciento a educación, 7.9 por ciento a vestimenta, mientras que el 41.2 por ciento son destinados a otros rubros como bienes y recursos, hospedaje y recreación, gastos en servicios básicos, muebles y equipos del hogar, comunicación, bebidas alcohólicas, entre otros; además, considerando que el ingreso familiar tipo es de 840 dólares, el cual duplica los valores de la canasta básica.

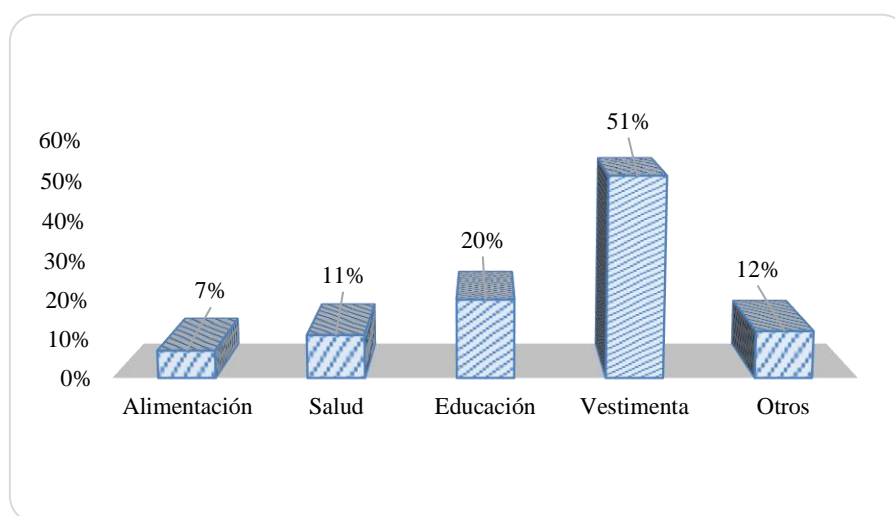


Figura 3. Rubros de gastos de cañicultores del cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

En nivel de estudios, el 43 por ciento reportó tener estudios secundarios, el 26 por ciento primarios, 24 por ciento superiores o de tercer nivel y el 7 por ciento no ha cursado estudios. Valle *et al.* (2021) indicaron que el 66.1 por ciento de cañicultores de la provincia de Pastaza en Ecuador contaba con estudios primarios (Figura 4).

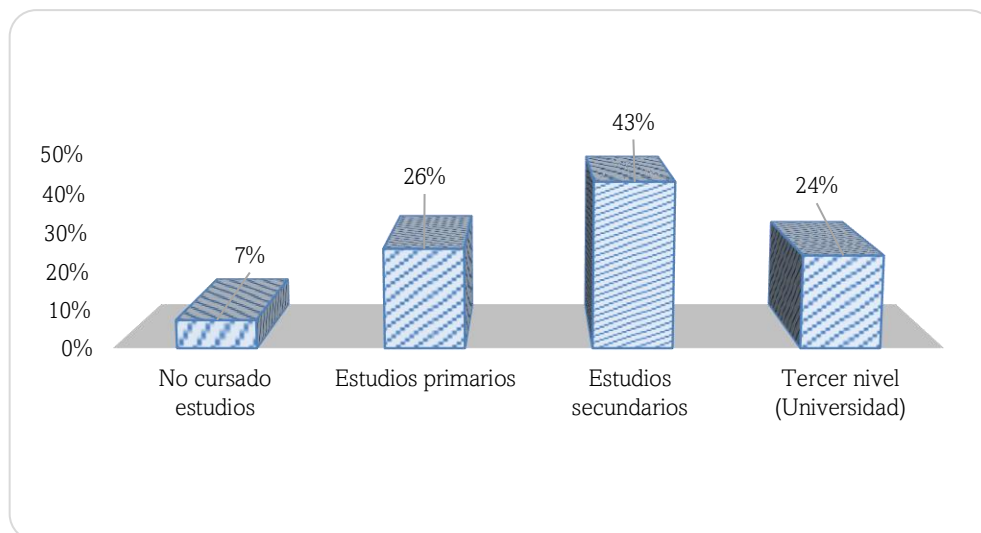


Figura 4. Nivel de educación de los cañicultores del cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Por otra parte, el MAG (2016), establece que la población ocupada en el sector primario o agrícola presentan niveles de escolaridad básica (6 años o menos), lo cual es motivo de complejidad para el desarrollo de este sector; sin embargo, según estadísticas del SIPA (2023), estos factores de nivel de escolaridad para el sector cañicultor se encuentra entre 3 por ciento ninguna, 14 por ciento para primaria, 26 por ciento para secundaria, 49 por ciento presentan niveles de instrucción superior y 8 por ciento posgrado, lo cual indica que el sector cañicultor presenta rangos positivos a nivel nacional.

Por otro lado, el 76 por ciento de los cañicultores del Cantón Milagro reportaron haber recibido algún tipo de capacitación, principalmente del Ministerio de Agricultura a través de su Plan Semillas. También reciben asistencia técnica de profesionales que venden insumos agrícolas de las principales empresas de agroquímicos. Un 24 por ciento reportó no haber recibido capacitación. Es importante señalar que la principal problemática de los agricultores es la falta de capacitación en temas de comercialización. Segura (2021), reportó que el 30 por ciento de cañicultores en San José del Cantón Naranjito en la provincia de Guayas recibe incentivo del sector público en forma de asesoramientos. En el presente estudio, las principales instituciones que brindan capacitación a los cañicultores en el cantón Milagro fueron el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), los ingenios, la empresa privada, asociaciones de productores y otros, como se aprecia en la Figura 5.

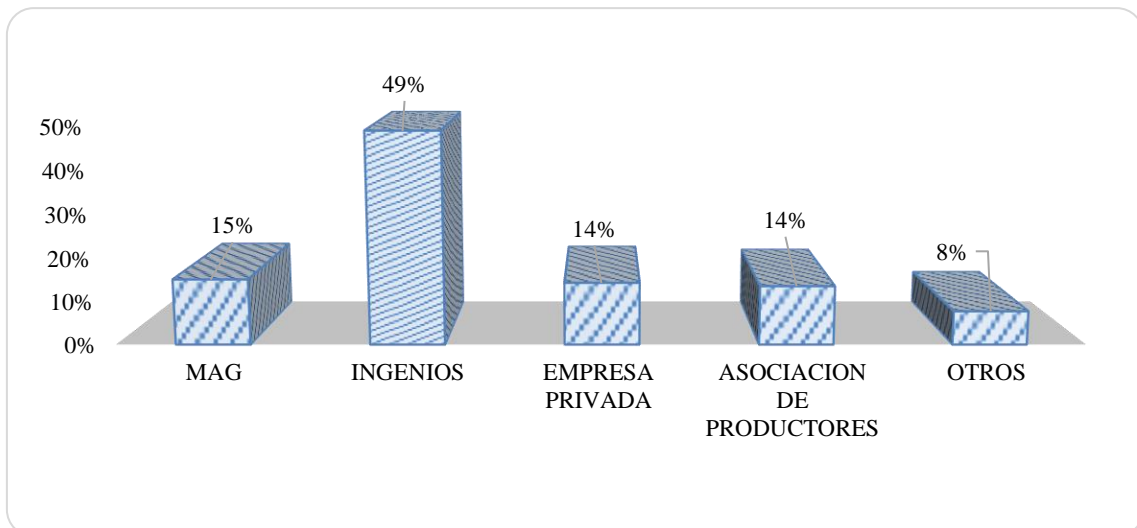


Figura 5. Instituciones que brindan capacitación a cañicultores del cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Más del 70 por ciento de los cañicultores en el cantón Milagro, Provincia de Guayas, son agricultores medianos que manejan entre 5 a 20 hectáreas (Figura 6). En este aspecto, Ortiz (2016), señaló que los cañicultores de la parroquia Malacatos en la provincia de Loja, Ecuador poseían mayoritariamente menos de 5 hectáreas. Por su parte Valle *et al.* (2021) reportaron que el 88.9 por ciento de los cañicultores de la provincia de Pastaza en Ecuador tenían de 2 a 5 hectáreas de caña. Por otra parte, según el SIPA (2023), establece que el 58 por ciento de los cañicultores a nivel nacional cuentan con extensiones menores a 5 hectáreas, el 19 por ciento oscilan entre 5 a 10 hectáreas, mientras que el 23 por ciento de los agricultores presentan extensiones mayores a 20 hectáreas, coincidiendo con los valores obtenidos en la presente investigación.

Del mismo modo, el 97 por ciento de cañicultores del Cantón Milagro manifestaron contar con parcela propia y el 3 por ciento alquilada. Por su parte, Valle *et al.* (2021) reportaron que el 85 por ciento de los cañicultores de la provincia de Pastaza en Ecuador trabajaban una parcela propia.

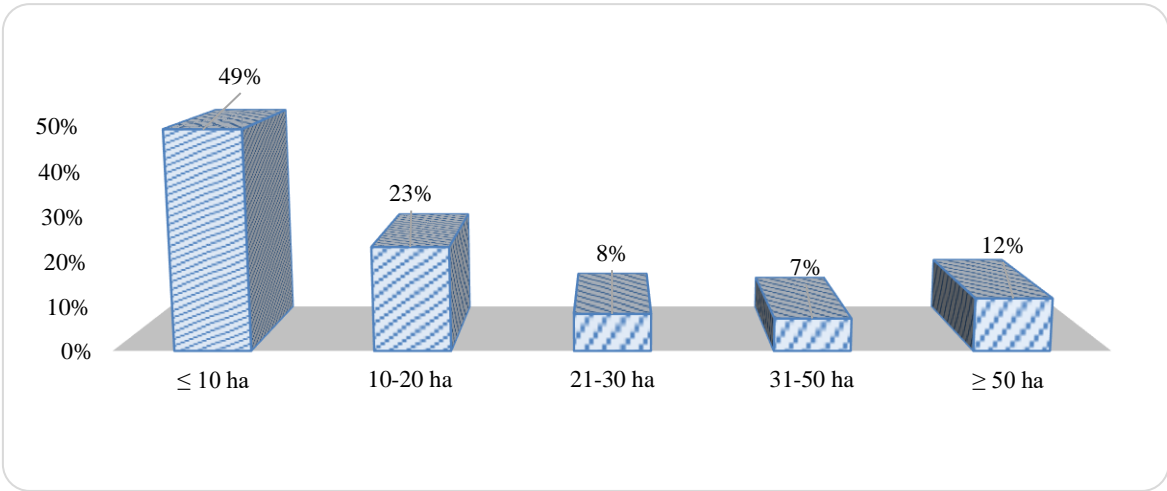


Figura 6. Área sembrada por cañicultores del cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Asimismo, según estadísticas del SIPA (2023), establece que el 76 por ciento de los cañicultores cuentan con parcelas propias, el 17 por ciento se encuentran en relación de aparcería, el 1 por ciento arrendadas y el 6 por ciento presentan otro tipo de relación en comandita, lo que indica que los valores encontrados se encuentran sobre la media.

En el tema de mecanización, Ortiz (2016) señala que debe procurarse eliminar obstáculos naturales y antropogénicos para facilitar la mecanización del cultivo de caña de azúcar. El nivel de mecanización de la caña de azúcar del cantón Milagro es del 90 por ciento en el sistema productivo de siembra a cosecha y 10 por ciento utilizan métodos manuales (Figura 7), lo cual coincide con CINCAE (2021) que establece que alrededor del 85 por ciento de los agricultores presentan actividades de mecanización para cosecha y preparación de suelos.

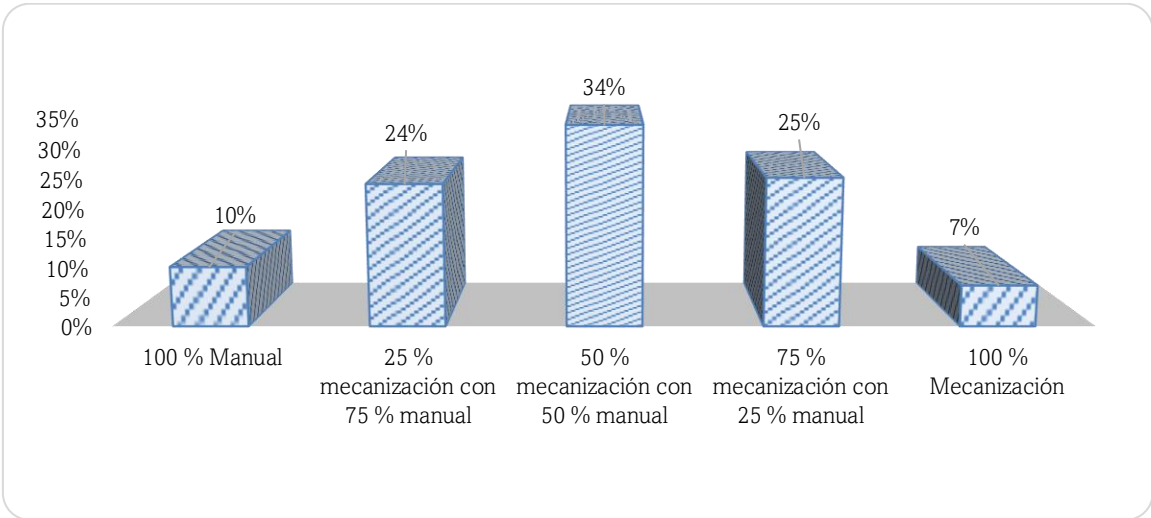


Figura 7. Mecanización del cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

En tipo de riego, el 96 por ciento de los cañicultores del cantón Milagro efectúan riego por gravedad y 4 por ciento por sistema de pivote, similar a Calderón (2017), quien señaló que los cañicultores del Cantón Caluma en la provincia de Bolívar en Ecuador utilizaban riego por gravedad, por tanto, es posible determinar que el sector cañicultor no presenta avances de tecnificación del riego, debido a las prácticas de manejo del cultivo; como quema y mecanización del terreno.

En el tema de fertilización, Valle *et al.* (2021) indican que la gran mayoría de agricultores de caña de azúcar en la provincia de Pastaza en Ecuador aplica fertilizantes. Por su parte, Ortiz (2016), reafirma el rol estratégico de la fertilización para el rendimiento en caña de azúcar. Asimismo, Calderón (2017) afirma que el gasto en fertilización era alrededor del 16 por ciento del costo de producción total de caña de azúcar en el cantón Caluma de la provincia de Bolívar, Ecuador.

Los cañicultores del cantón Milagro aplican los fertilizantes de manera fraccionada, el 58 por ciento realiza 3 o menos fraccionamientos y el 81 por ciento hace cinco aplicaciones de fertilizantes o menos, siendo lo recomendado fraccionar al menos una fertilización mensual. Esto coincide con lo mencionado por CINCAE (2008), el cual establece que el cultivo de caña de azúcar requiere tan solo de tres aplicaciones bien distribuidas por todo el ciclo del cultivo, corroborando la información obtenida en el presente trabajo, llevar a cabo más ciclos de aplicación afecta negativamente sobre la rentabilidad del cultivo.

El número de aplicaciones de fertilizantes entre cañicultores del cantón Milagro por ciclo se aprecia en la Figura 8.

El tipo de fertilización de los cañicultores del cantón Milagro de acuerdo con el origen de los fertilizantes y/o abonos empleados, pueden apreciarse en la Figura 9. El 96 por ciento de cañicultores reporta usar fertilizantes de síntesis química en alguna medida, esto se relaciona a la alta oferta de este tipo de insumos. Lo mencionado anteriormente se relaciona 58 por ciento de importaciones de fertilizantes según Renteria *et al.* (2019), y solo un 4 por ciento de los encuestados reportaron la utilización de fertilización de fuentes orgánicas.

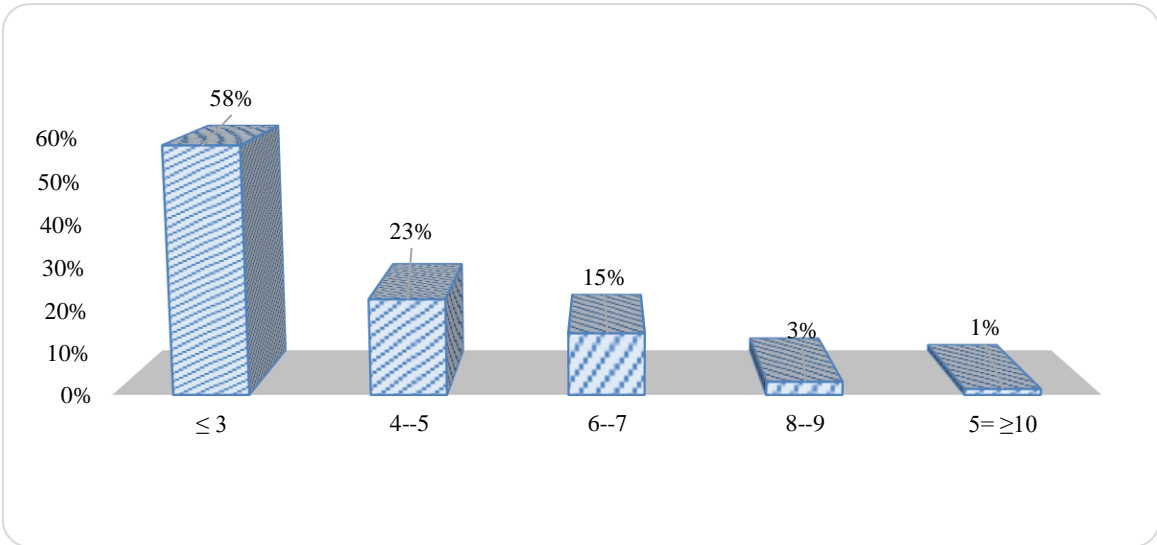


Figura 8. Número de aplicación de fertilizantes por campaña en el cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

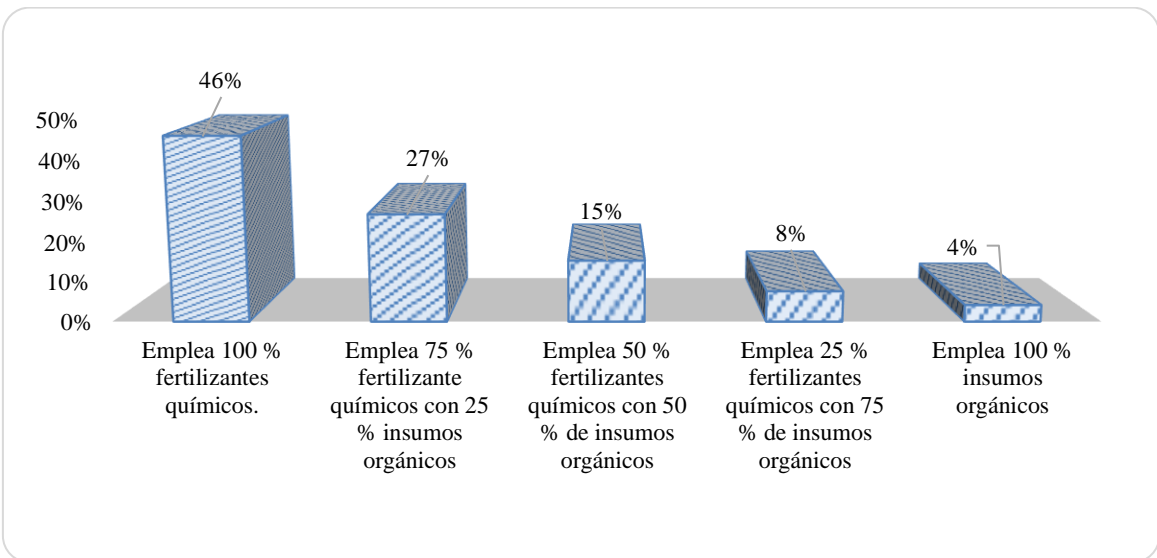


Figura 9. Tipo de fertilización, según el origen del fertilizante y/o abono, en el cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Para implementar la fertilización en caña de azúcar se determinó que el 53 por ciento cañicultores realizan aplicaciones en base a criterios técnicos que recomiendan el análisis de suelo con frecuencia de dos años, mientras que el 27 por ciento lo hacen de forma empírica (Figura 10). La fertilización es una de las actividades más importantes que afecta directamente el desarrollo productivo y económico, por lo cual se requiere conocer fundamentos técnicos como necesidades nutritivas, variedad, tipo de suelo, clima, fuente y manejo de fertilizante.

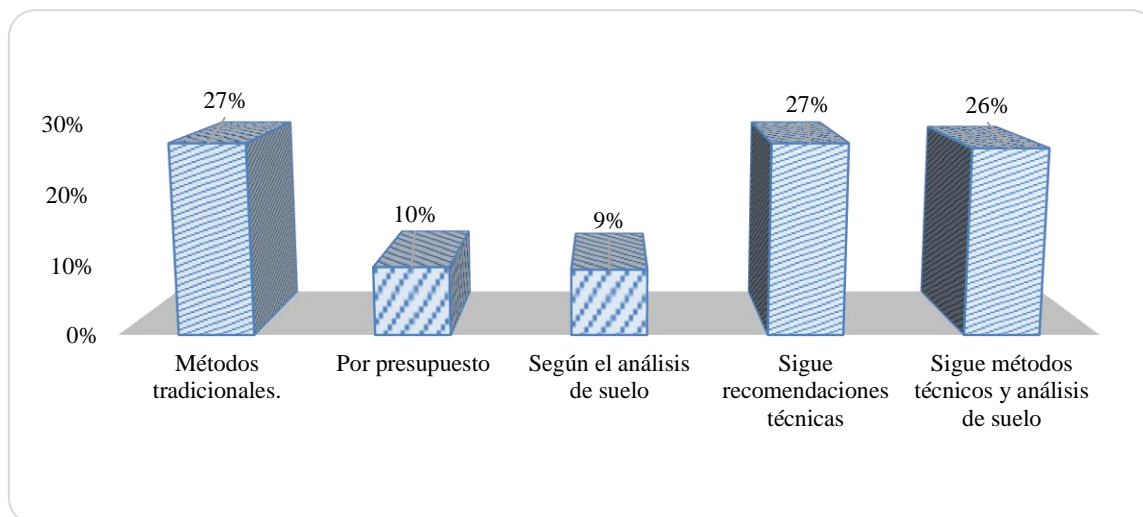


Figura 10. Métodos para calcular las dosis de fertilización, en el cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

En incidencia de malezas, el 74 por ciento de cañicultores del cantón Milagro reportó la presencia de gramíneas, ciperáceas y malezas de hoja ancha a la vez en sus campos de caña, el 20 por ciento reportó solo gramíneas y malezas de hoja ancha y el 6 por ciento solo reportó gramíneas y ciperáceas en sus campos.

En cuanto al uso de herbicidas, el 62 por ciento de cañicultores, realiza tres o menos aplicaciones, el 23 por ciento de cuatro a cinco aplicaciones, el 8 por ciento de seis a siete aplicaciones, el 6 por ciento de ocho a nueve aplicaciones y 1 por ciento reportó realizar 10 aplicaciones o más. Ortiz (2016) reportó que los cañicultores de la parroquia Malacatos en la provincia de Loja en Ecuador aplicaban control químico de malezas y realizaban también control manual.

Para el 2022, el SIPA mencionan que el 28 por ciento de las afectaciones en caña es atribuido a las plagas del cultivo. Dicha afirmación es concurrente a este estudio, en el cual se describe que el 80.5 por ciento de los encuestados mencionan que tienen incidencia entre 25-50 por ciento de afectación por plagas.

El nivel de incidencia de insecto-plaga en caña de azúcar en el Cantón Milagro puede apreciarse en la Figura 11. Calderón (2017) reporta a *Perkinsiella saccharicida*, nombre común “saltón de hojas” y a *Sipha fava* conocida como “pulgón amarillo”, como plagas importantes de la caña de azúcar en las primeras etapas del cultivo en Bolívar, Ecuador.

Valle *et al.* (2021) realizaron una caracterización socioeconómica y productiva de los cañicultores de la provincia de Pastaza en Ecuador y reportaron un gasto en insecticidas de 11 a 15 dólares/ha, en herbicidas de 5 dólares/ha o menos en la mayoría de los casos y costos de aplicación de productos fitosanitarios de 11 a 30 dólares/ha.

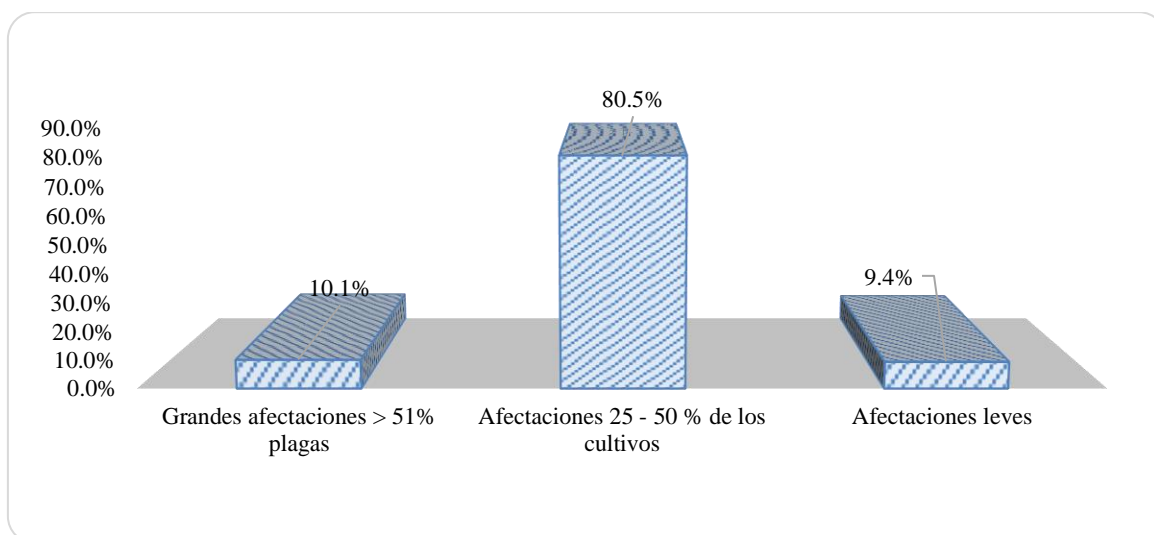


Figura 11. Nivel de incidencia de plagas en caña de azúcar en el Cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

En este estudio, el 76 por ciento de cañicultores del Cantón Milagro señalan realizar tres o menos aplicaciones de insecticida por campaña, 15 por ciento de cuatro a cinco, 4 por ciento seis o siete, 4 por ciento de ocho a nueve aplicaciones y 1 por ciento diez o más aplicaciones. En cuanto a fungicidas, el 75 por ciento de cañicultores manifestó hacer tres o menos aplicaciones por campaña, el 16 por ciento de cuatro a cinco aplicaciones, el 5 por ciento de seis a siete, el 2 por ciento de ocho a nueve y el 1 por ciento más de diez aplicaciones por campaña, principalmente por la presencia de fumagina (*Capnodium sp*) asociada con la presencia de *Perkinsiella saccharicida*. La incidencia de plagas y enfermedades en caña de azúcar en el Cantón Milagro es de niveles intermedios.

Respecto al acceso a insumos agrícolas, Ortiz (2016) señala que la cantidad y variación de precio de los insumos a los que acceden los cañicultores en Loja es fundamental para el cálculo de los costos de producción de los productores. La facilidad de acceso a los insumos agrícolas de los cañicultores del Cantón Milagro es accesible por medio de créditos otorgados por la banca. EL SIPA menciona que durante 2021-2022 se otorgaron entre 0.5 y 0.8 millones de dólares, respectivamente, a 123 (2021) y 128 (2022) cañicultores por parte

de la banca. Dicho presupuesto, destinado a créditos, fue 4 veces menor al monto otorgado en el 2020. Los medianos y pequeños cañicultores no son beneficiarios de entidades agropecuarias y GAD, mientras que al grupo de encuestados que no tienen acceso se les dificulta obtener créditos económicos y subsidios en precio de insumos agrícolas.

Sólo el 5 por ciento reportó no tener acceso a ningún insumo, 8 por ciento accesos incompletos y el 87 por ciento manifestó tener acceso a una o más marcas por insumo, como puede apreciarse en la Figura 12.

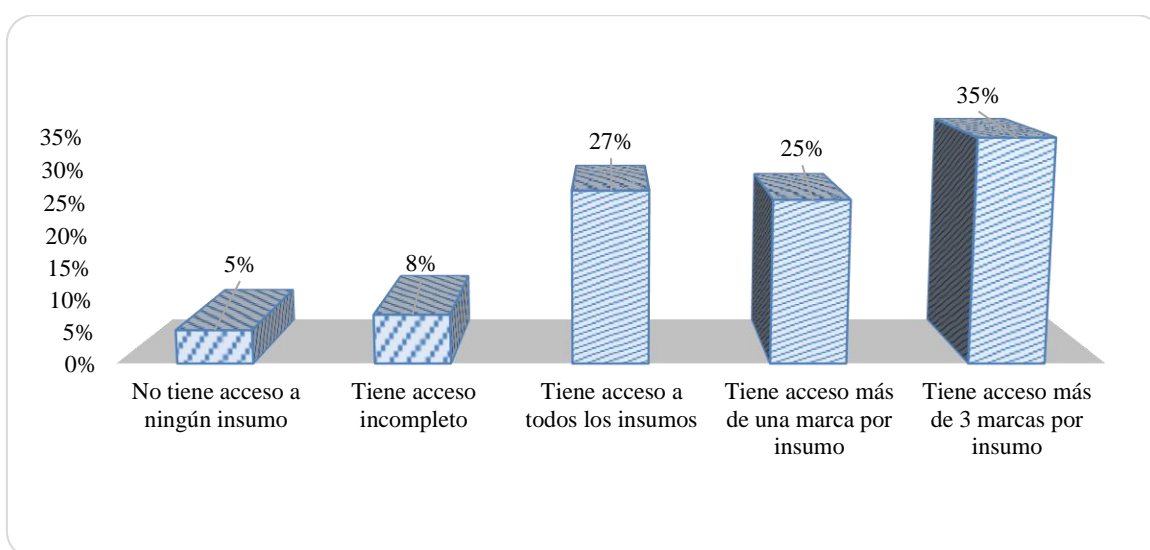


Figura 12. Acceso a insumos agrícolas de los cañicultores del Cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Finalmente, la producción promedio de caña por hectárea del Cantón Milagro es susceptible de mejora, tal como puede apreciarse en la Figura 13, donde el 64 por ciento de agricultores produce menos de 90 t/ha en un ciclo promedio de 12 meses. La tasa de retorno de siembra de caña de azúcar es de 1.21; en el primer año de cultivo la ganancia es del 21 por ciento en 105 t/ha, lo que concuerda con el 22 por ciento de cañicultores en este estudio que superan la producción de 100t/ha.

SIPA (2022), menciona que el rendimiento promedio de caña de azúcar en la provincia del Guayas, Milagro fue de 66.69 t/ha, lo cual coincide con el 14 por ciento de encuestados del presente estudio, estos manifestaron producciones de caña <70t/ha.

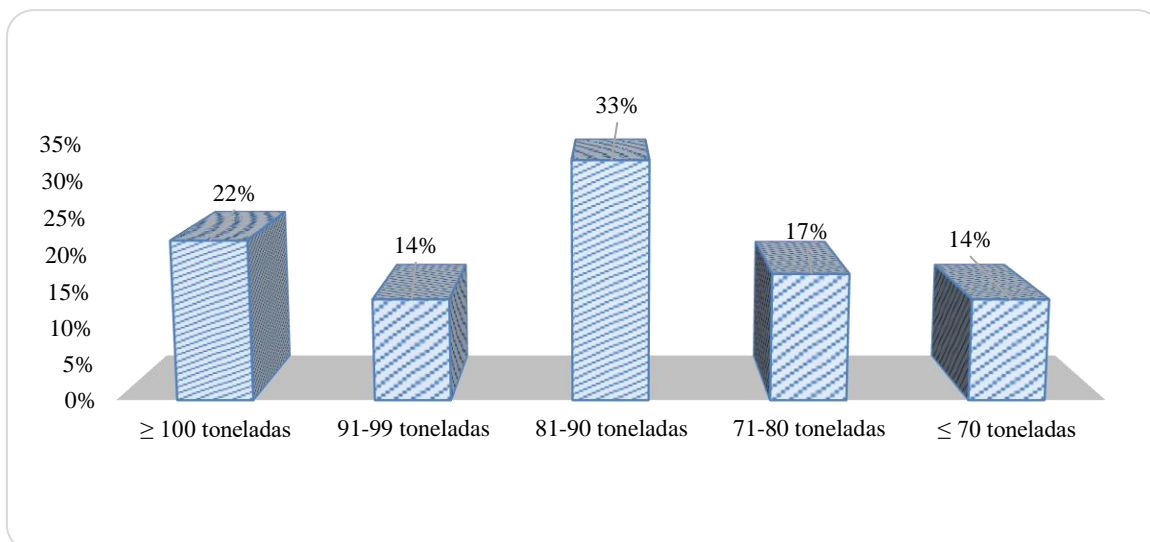


Figura 13. Producción promedio de caña/ha en campaña 2020, en el Cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

4.2. EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD DE LAS FINCAS PRODUCTORAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR

En la dimensión económica, los subindicadores de autosuficiencia alimentaria en lo cual A1 representa la diversificación de la producción y A2 la superficie de producción de autoconsumo, fueron menores a 1, que indica la deficiencia en la diversificación de la producción con menos de dos productos y de superficie de autoconsumo de menos de 0.4 ha. El promedio para el subindicador B fue de 3.84 que representa un valor cercano a los 500 dólares americanos de ingreso mensual, por encima del valor referencial de sustentabilidad de 2.

Por su parte, los subindicadores del acápite C de riesgo económico, indican una escasa diversificación para la venta de un solo producto (C1), un solo canal de comercialización (C2), una relativamente alta dependencia de insumos externos, del orden de 40 a 70 por ciento (C3), un área promedio de caña de azúcar cercana a las 50 hectáreas (C4), una productividad promedio entre 80 y 100 toneladas de caña/ha en un ciclo de 12 meses, (C5) y una o dos fuentes de crédito (C6).

Sobre la rentabilidad económica de la caña de azúcar en Ecuador, Iñiguez *et al.* (2018) hallaron que los retornos de la inversión en el cultivo de caña de azúcar en la Parroquia de Malacatos en la Provincia de Loja son relativamente bajos, pero hay ganancia. Las fortalezas y debilidades de la dimensión económica y de su respectivo Indicador Económico (IK) y

subindicadores, se muestra en la Figura 14. En ella se visualiza gráficamente la debilidad de los agroecosistemas de caña de azúcar del Milagro en el subindicador de Autosuficiencia Alimentaria (A), la fortaleza en el subindicador de Ingreso Neto Mensual (B) y los valores para las variables del subindicador de riesgo Económico (C), con especial fortaleza en el subindicador C4 de Área promedio de caña de azúcar.

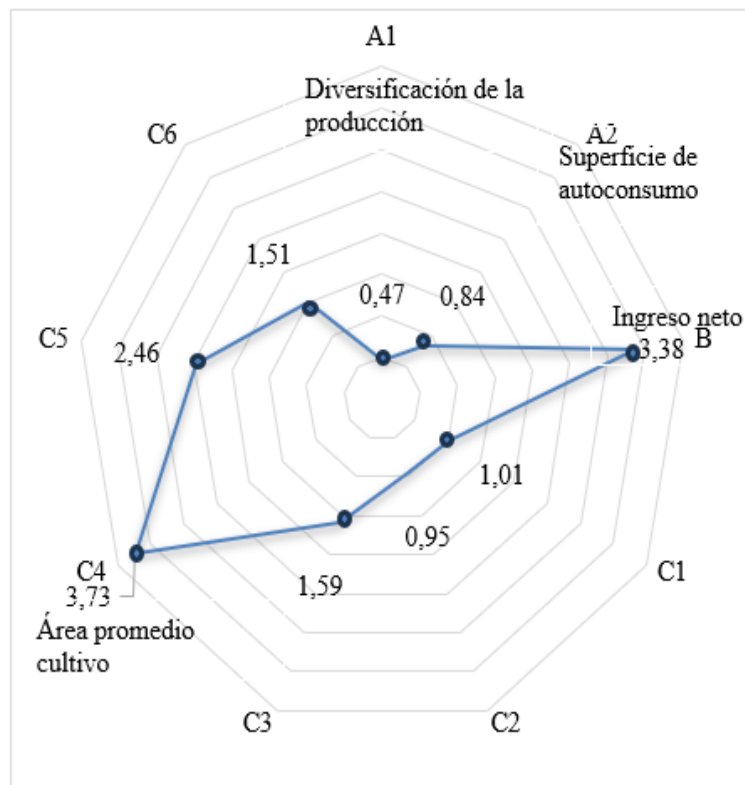


Figura 14. Subindicadores del Indicador Económico (IK)

En la dimensión ecológica, para el indicador A de Conservación de vida del suelo, los valores fueron bajos con menos de 25 por ciento de cobertura de suelo (A1), rotaciones aceptablemente continuas (A2) y poca diversificación de cultivos, sin asociaciones (A3). En el indicador de degradación del suelo (B), el rango de porcentaje de cobertura de suelo fue de 0 a 24 por ciento. En manejo de la biodiversidad (C), la biodiversidad temporal (C1) fue aceptable con rotaciones cada dos o tres años a más, pero la biodiversidad espacial (C2) fue deficiente con la presencia de predios de monocultivo sin asociaciones o parcelas de poca diversificación de cultivos. En cuanto a nutrición de cultivos (D), el método de fertilización (D1) fue aceptable según análisis de suelo y la aplicación de fertilizantes (D2) no fue muy sostenible con 75 por ciento de fertilizantes químicos y 25 por ciento de abonos orgánicos. Por otro lado, en Factores de degradación (E), el tipo de riego (E1) mayoritario por gravedad con

surcos, las prácticas de labranza (E2) 50 por ciento mecanizadas y 50 por ciento manuales y en la quema del cultivo (E3), realizan cosecha con quema, y la mayoría vuelve a quemar después de la zafra.

En el aspecto ambiental, Cabrera y Zuaznábar (2010) afirman que el monocultivo de caña de azúcar y uso de quema para la cosecha ocasiona degradación ambiental. Por su parte, Macías y Calle (2009) señalaron que el cultivo de caña de azúcar en la Provincia del Cañar en Ecuador generó impactos ambientales afectando al suelo por la aplicación de pesticidas, fertilizantes y residuos captados en los cursos de agua y sistemas de alcantarillado, así como por la pérdida de microorganismos del suelo ocasionada por la quema de la caña de azúcar en la cosecha. También ocurre la contaminación del aire por las emisiones de humo que produce la quema del cultivo en la cosecha y el proceso de transformación de la industria azucarera. El agua también se ve contaminada por los residuos de cosecha y los procesos de la industria. Las fortalezas y debilidades de la dimensión ecológica y de su respectivo Indicador Ecológico (IE) y subindicadores, se puede apreciar visualmente en la Figura 15. Este refleja gráficamente fortaleza en el subindicador A2 de rotaciones continuas, C1 de biodiversidad temporal, D1 de método de fertilización, y E2 de prácticas de labranza mecanizada, presentando debilidades en los demás anteriormente mencionados.

En la dimensión social, en el aspecto de Satisfacción de necesidades básicas (A), la Vivienda (A1) fue buena y terminada, en Acceso a educación (A2) de nivel secundario mayoritariamente, en Acceso a salud y cobertura sanitaria (A3) fue a centros sanitarios mal equipados y con personal temporario, y en Servicios (A4) contaban con electricidad y agua de pozo en su mayoría y potable en algunos casos. Respecto a la Aceptabilidad del Sistema de Producción (B), manifestaron estar contentos con su cultivo de caña de azúcar, pero antes les iba mejor. En Integración Social (C), la relación con otros miembros de la comunidad fue de alta a muy alta. Respecto a Conocimiento y conciencia ecológica (D), los cañicultores tienen noción de la ecología y de la posible afectación del medio ambiente por sus prácticas agrícolas en algunos casos aplican la ecología en su parcela, reduciendo el uso de agroquímicos y haciendo prácticas conservacionistas, pero sin una visión más amplia más allá de su finca y sin ahondar en los fundamentos científicos de la agroecología.

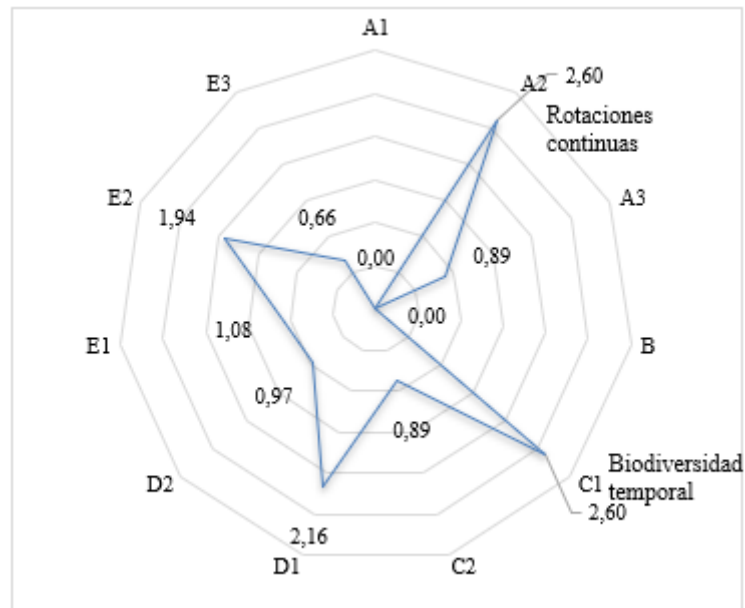


Figura 15. Subindicadores del Indicador Ecológico (IE)

En el aspecto social, Navarrete *et al.* (2022) señalan que la caña de azúcar es un recurso endógeno que constituye un factor de desarrollo local y es fuente de empleo y sustento de numerosas familias en el cantón Jipijapa en Ecuador, además de ser un cultivo de gran trascendencia en el país y parte de una de las cadenas agro-productivas más importantes. Las fortalezas y debilidades de la dimensión sociocultural y de su respectivo Indicador Social (IS) y subindicadores, se puede apreciar visualmente en la Figura 16, que refleja gráficamente la fortaleza de la dimensión social en prácticamente todos los subindicadores.

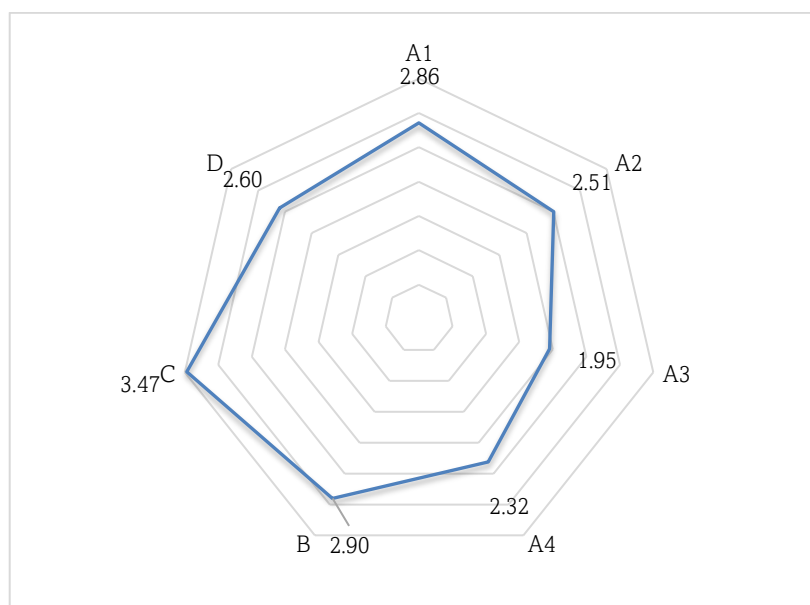


Figura 16. Subindicadores de la dimensión sociocultural

Los resultados de todos los subindicadores de las dimensiones económica, ecológica y social figuran en la Tabla 12.

Tabla 12: Resultados de subindicadores de dimensiones económica, ecológica y social

Económico	A1	A2	B	C1	C2	C3	C4	C5	C6		
(IK)	0.47	0.84	3.38	1.01	0.95	1.59	3.73	2.46	1.51		
Ecológico	A1	A2	A3	B	C1	C2	D1	D2	E1	E2	E3
(IE)	0.00	2.60	0.89	0.00	2.53	0.54	2.16	0.97	1.08	2.05	0.66
Social (IS)	A1	A2	A3	A4	B	C	D				
	2.86	2.51	1.95	2.32	2.90	3.47	2.60				

Para el cálculo del Índice de Sustentabilidad General (ISG) del cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, se promediaron los valores del Índice Económico (IK), el Índice Ecológico (IE) y el Índice Social (IS), obteniéndose un valor de 1.96, como se aprecia en la Tabla 13.

Tabla 13: Índice de Sustentabilidad General de caña de azúcar en el cantón Milagro

IK	IE	IS	ISG
Indicador Económico	Indicador Ecológico	Indicador Social	Índice de Sustentabilidad General
1.64	1.2	3.1	1.96

El resultado del Índice de Sustentabilidad General (ISG) es 1.96, menor al valor de referencia de 2. De acuerdo con la metodología de Sarandón *et al.* (2006), un cultivo es sustentable cuando el Índice General de Sustentabilidad es mayor a 2 y al mismo tiempo cada uno de los tres indicadores (económico, ecológico y social), son también mayores a 2. En el presente estudio sólo el Indicador Sociocultural fue mayor a 2 con un valor de 3.1, y los indicadores económico y ecológico fueron menores a 2 con valores de 1.64 y 1.20, respectivamente; sin embargo, dos UPAs del universo encuestado presentaron sustentabilidad de acuerdo con la metodología de Sarandón con valores superiores a dos 2.39 y 2.27 (Figura 17).

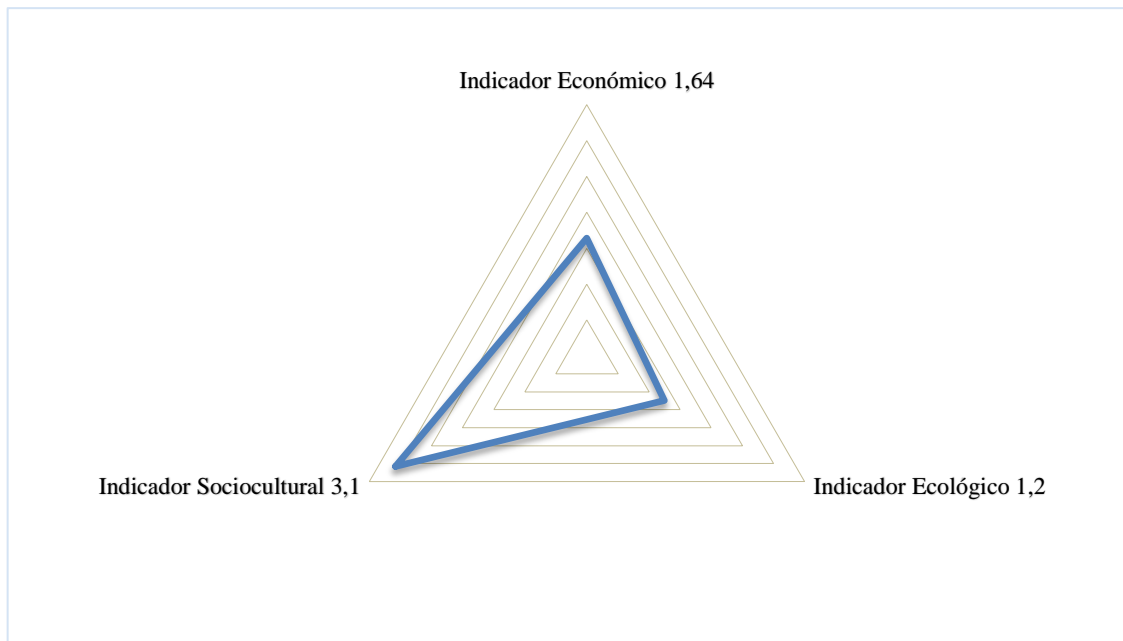


Figura 17. Indicadores Económico, Sociocultural y Ecológico de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

En el Ecuador, se han realizado diversos estudios de sustentabilidad de cultivos agrícolas utilizando el “Análisis Multicriterio” de Sarandón *et al.* (2006). Anzules *et al.* (2021) hallaron que alrededor de la mitad de los productores de cacao en la provincia de Santo Domingo de Tsáchilas tenían parcelas sustentables. Por su parte, Caicedo *et al.* (2020), reportaron que las fincas productoras de banano en Babahoyo de la Provincia de Los Ríos en Ecuador no fueron sustentables en la dimensión ambiental por su alta dependencia a agrotóxicos y el desconocimiento de la aptitud del suelo para su uso, esto condicionado por aspectos económicos. En el cultivo de caña de azúcar en Ecuador, Gonzabay *et al.* (2020) reportaron sostenibilidad intermedia a alta para los Índices de Responsabilidad Económica (IRE), Responsabilidad Ambiental (IRA) y de Responsabilidad Social (IRS), para la empresa Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A., empresa líder en el sector cañicultor en el Ecuador, pero utilizando la metodología GRI (Global Reporting Initiative).

Analizando la relación entre las variables mediante Análisis de Componentes Principales, se halló que las variables relacionadas a plagas, enfermedades, riego, rotación de cultivo y fertilización guardan una relación relativamente cercana, tal como se aprecia gráficamente en la Figura 18.

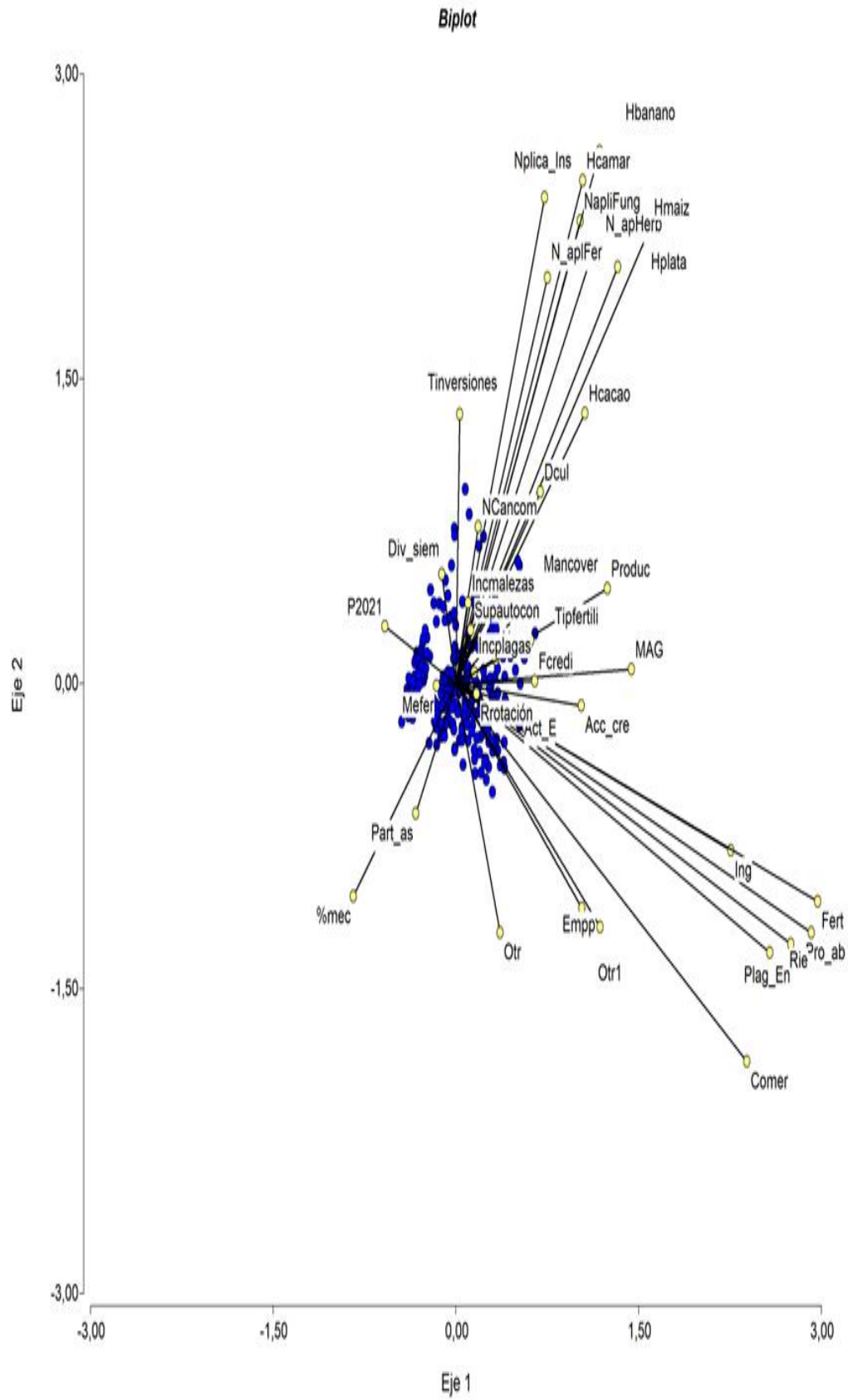


Figura 18. Análisis de componentes principales

Por otra parte, según las variables estudiadas, los agricultores encuestados fueron lo suficientemente heterogéneos para ser agrupados mediante Análisis de Conglomerados, en tres clusters o grupos bien definidos, tal como se aprecia gráficamente en la Figura 19

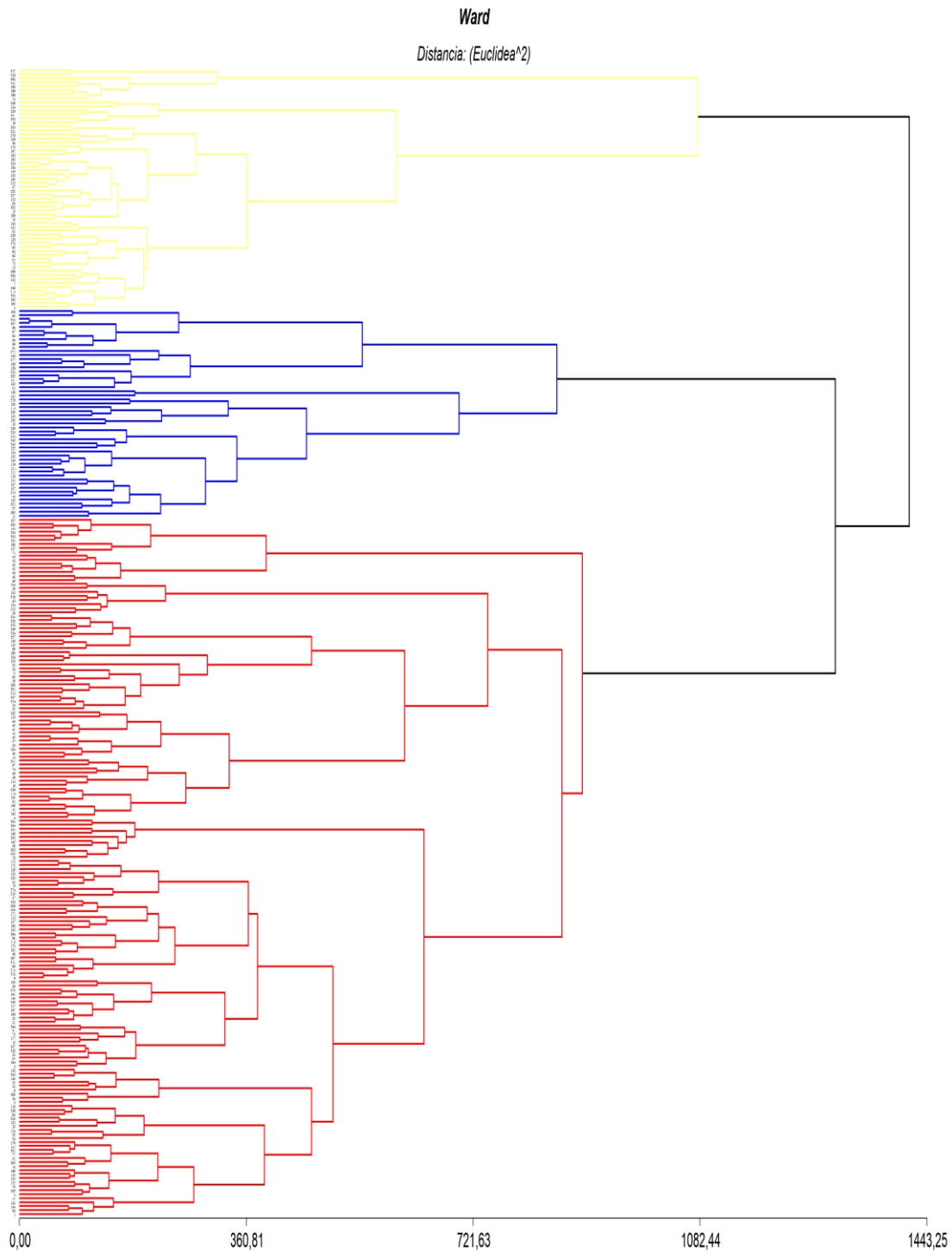


Figura 19. Análisis de conglomerados

4.3. ANÁLISIS HISTÓRICO VARIETAL DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL CANTÓN MILAGRO

En este apartado, se analiza en dos periodos, el primero del 2012-2016, y el segundo del 2017-2021. Esto debido a que en el segundo periodo se tiene nueva variedad.

4.3.1. Análisis comparativo de cinco años de variedades de caña de azúcar (2017-2021)

Las variedades con mayor área cosechada en el cantón Milagro fueron ECU-01 y CC85-92 con 7 497.90 y 6 126.96 m² como media de área cosechada, respectivamente, tal como se observa en la Tabla 14. CINCAE (2019), señaló que las variedades más sembradas en los ingenios San Carlos, Valdez y COAZÚCAR el año 2018 fueron CC85-92, ECU-01 y EC-02.

Tabla 14: Área cosechada de las variedades de caña (2017-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Variedad	Estadísticos	Valor
CC85-92	Media	6126,9600
	Varianza	7448180,27
	Desviación	2729,13544
EC-02	Media	1869,3400
	Varianza	261742,968
	Desviación	511,60822
EC-04	Media	627,1200
	Varianza	86115,437
	Desviación	293,45432
EC-05	Media	301,8600
	Varianza	5564,963
	Desviación	74,59868
EC-06	Media	264,2800
	Varianza	27197,147
	Desviación	164,91558
ECU-01	Media	7497,9000
	Varianza	1572292,525
	Desviación	1253,91089
RAGNAR	Media	3278,8000
	Varianza	1106687,265
	Desviación	1051,99205

Las variedades con los mejores valores para la variable t/ha de caña cosechada fueron EC-02, ECU-01 y EC-06 con 88.14; 82.83 y 80.30 como media, respetivamente, tal como se aprecia en la Tabla 15. Los rendimientos de caña de azúcar a nivel nacional subieron entre los años 2015 al 2019, debido a la adopción de variedades mejoradas, presentando promedios que oscilaron entre 83 a 89 t/ha. Sin embargo, para los años 2020 y 2021 hubo una disminución en los rendimientos, con promedios de 79.90 t/ha y 87.2 t/ha (MAG 2021). Al respecto, Silva reportó valores experimentales de rendimiento de caña de 79.70 para la variedad CC85-92, 83.20 t/ha para ECU-01, 76.10 t/ha para EC-02 y 69.40 t/ha para RAGNAR. Por otro lado, CINCAE (2011) reportó valores de caña cosechada por hectárea (TCH) entre 73.40 y 92.30 para la variedad EC-03 y entre 85 y 112.80 para EC-04 en el periodo 2006-2009. Por su parte, Silva *et al.* (2013) reportaron un rendimiento de promedio de producción de 69.5 t/ha para la variedad EC-06, que implica que ha habido una mejora del manejo agronómico y desempeño de la variedad en campo los últimos años.

Tabla 15: Rendimiento de diversas variedades (2017-2021) en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Unidad	Variedad	Estadísticos	Valor
t/ha	CC85-92	Media	79,4300
		Varianza	11,402
		Desviación	3,37668
	EC-02	Media	88,1400
		Varianza	5,392
		Desviación	2,32201
	EC-04	Media	78,7600
		Varianza	105,153
		Desviación	10,25441
	EC-05	Media	79,4200
		Varianza	28,007
		Desviación	5,29216
	EC-06	Media	80,3000
		Varianza	131,630
		Desviación	11,47301
	ECU-01	Media	82,8300
		Varianza	21,694
		Desviación	4,65774
	RAGNAR	Media	74,4500
		Varianza	14,920
		Desviación	3,86264

Las variedades con mayor cantidad de sacos de azúcar fueron EC-06, EC-02 y EC-05 con 152.70; 148.65 y 142.78 como media de sacos, respectivamente, tal como se aprecia en la Tabla 16. CINCAE (2020), señala que entre los años 2011 al 2019, Ecuador ha afianzado el desarrollo de la mejora productiva del sector cañicultor, desarrollando variedades obtenidas en base a material genético del Centro de Tecnología Canavieira de Sao Paulo, Brasil. Las nuevas variedades presentan condiciones de resistencia y adaptabilidad, así como mejoras productivas basadas en rendimientos de sacos de azúcar por hectárea. Al respecto, Silva reportó en condiciones experimentales rendimiento de azúcar valores de sacos de azúcar de 199 para la variedad CC85-92, 204 sacos de azúcar para ECU-01 y 184 sacos para EC-02 y para RAGNAR, lo que indica un techo de rendimiento importante para la producción en campo de las variedades mejoradas. Por otro lado, Silva *et al.* (2013) reportaron que la variedad EC-05 rendía un promedio de 167 sacos de azúcar de 50 y que la variedad EC-06 154 sacos de azúcar por hectárea.

Tabla 16: Rendimiento de azúcar (N° sacos/ha) obtenidos con diversas variedades (2017-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Variedad	Estadísticos	Valor
CC85-92	Media	131,8600
	Varianza	362,376
	Desviación	19,03616
EC-02	Media	148,6500
	Varianza	169,343
	Desviación	13,01317
EC-04	Media	136,9000
	Varianza	226,325
	Desviación	15,04410
EC-05	Media	142,7800
	Varianza	47,372
	Desviación	6,88273
EC-06	Media	152,7000
	Varianza	241,505
	Desviación	15,54043
ECU-01	Media	138,9700
	Varianza	421,668
	Desviación	20,53456
RAGNAR	Media	128,7300
	Varianza	196,593
	Desviación	14,02117

Las variedades con menores valores para la variable edad de corte fueron EC-06 con 12 meses, EC-04 con 12.34 meses y EC-05 con 12.36 meses, como se aprecia en la Tabla 17. CINCAE (2019) indica que la edad de corte promedio en los principales ingenios del Ecuador fue de 12 meses.

Tabla 17: Edad de corte de diversas variedades (2017-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Variable	Unidad	Variedad	Estadísticos	Valor
Edad de corte	Meses	CC85-92	Media	12,8300
			Varianza	,279
			Desviación	,52868
		EC-02	Media	12,4300
			Varianza	,189
			Desviación	,43532
		EC-04	Media	12,3400
			Varianza	,483
			Desviación	,69498
		EC-05	Media	12,3600
			Varianza	,473
			Desviación	,68775
		EC-06	Media	12,0000
			Varianza	,875
			Desviación	,93541
		ECU-01	Media	12,6000
			Varianza	,265
			Desviación	,51478
RAGNAR	Media	13,1200		
	Varianza	1,522		
	Desviación	1,23369		

Las variedades con los mejores valores para la variable contenido de sacarosa en el jugo fueron EC-06 y EC-05 con 11.92 por ciento y 11.30 por ciento, respectivamente, tal como se observa en la Tabla 18. CINCAE (2019), señaló que el contenido de sacarosa en el jugo (pol por ciento) en los principales ingenios del Ecuador el año 2018 osciló entre 9.0 a 10.10 pol por ciento, lo que refleja un incremento de esta variable en las variedades mejoradas, durante el periodo 2017-2021.

Las variedades con los mejores valores para la variable kilogramos de azúcar por tonelada de caña (KATC) fueron EC-06 y EC-05 con 95.74 y 90.44 kg respectivamente, tal como se observa en la Tabla 19. En condiciones experimentales, Silva (s.f.) reportó rendimientos en condiciones experimentales de 124.60 KATC para la variedad CC85-92, 122.90 KATC para ECU-01, 120.80 KATC para EC-02 y 132.70 KATC para la variedad RAGNAR, lo que indica que los cañicultores tienen un importante potencial de rendimiento por alcanzar mediante un adecuado manejo agronómico.

Al respecto, CINCAE (2011) reportó valores entre 102.30 y 110.30 de KATC para la variedad EC-03 y entre 92.60 y 103.30 de KATC para la variedad EC-04 en el periodo 2006-2009. Por otro lado, Silva *et al.* (2013) reportaron un valor de 93.20 kg de azúcar/ton cosechado para la variedad ECU-01, similar a lo hallado en el cantón Milagro.

4.3.2. Análisis de componentes principales de variables por variedades en cinco años (2017-2021)

Como resultado del análisis de componentes principales, las variables área cosechada, edad de corte y toneladas de caña cosechada guardan una cierta relación. Las variables sacos de azúcar y toneladas de caña cosechada no guardan una estrecha relación ni tiene una correlación fuerte. Las variables que sí están fuertemente correlacionadas son kilos de azúcar por t/caña y contenido de sacarosa en el jugo, tal como se aprecia en la Figura 18. Las variables y variedades más correlacionadas se aprecian gráficamente más cerca unas de otras en función a dos componentes calculados responsables de explicar la variabilidad.

Tabla 18: Contenido de sacarosa en el jugo en diversas variedades (2017-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Variedad	Estadísticos	Valor
CC85-92	Media	10,5800
	Varianza	,392
	Desviación	,62610
EC-02	Media	10,6600
	Varianza	,503
	Desviación	,70922
EC-04	Media	10,9000
	Varianza	1,265
	Desviación	1,12472
EC-05	Media	11,3000

<<Continuación...>>

	Varianza	,705
	Desviación	,83964
	Media	11,9200
EC-06	Varianza	1,287
	Desviación	1,13446
	Media	10,5400
ECU-01	Varianza	,258
	Desviación	,50794
	Media	10,9600
RAGNAR	Varianza	,508
	Desviación	,71274

Tabla 19: Kilos de azúcar por tonelada de caña en diversas variedades (2017-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Variable	Unidad	Variedad	Estadísticos	Valor
KATC (kg azúcar/ton caña)	kg	CC85-92	Media	80,5000
			Varianza	7,495
			Desviación	2,73770
		EC-02	Media	85,0800
			Varianza	32,332
			Desviación	5,68612
		EC-04	Media	86,6000
			Varianza	97,900
			Desviación	9,89444
		EC-05	Media	90,4400
			Varianza	45,943
			Desviación	6,77813
		EC-06	Media	95,7400
			Varianza	92,343
			Desviación	9,60953
		ECU-01	Media	84,5000
			Varianza	16,925
			Desviación	4,11400
RAGNAR	Media	87,7200		
	Varianza	32,702		
	Desviación	5,71857		

4.3.3. Matriz de correlación (2017-2021)

La matriz de correlación de variables puede apreciarse en a Tabla 20, hallándose correlación positiva moderada entre t/ha con sacos de azúcar/ha y positiva muy alta entre KATC con grados pol, clasificándose en función a una escala de valores de los coeficientes, que cercanos a cero significan ausencia de correlación entre variables y cercanos a uno, una correlación más fuerte.

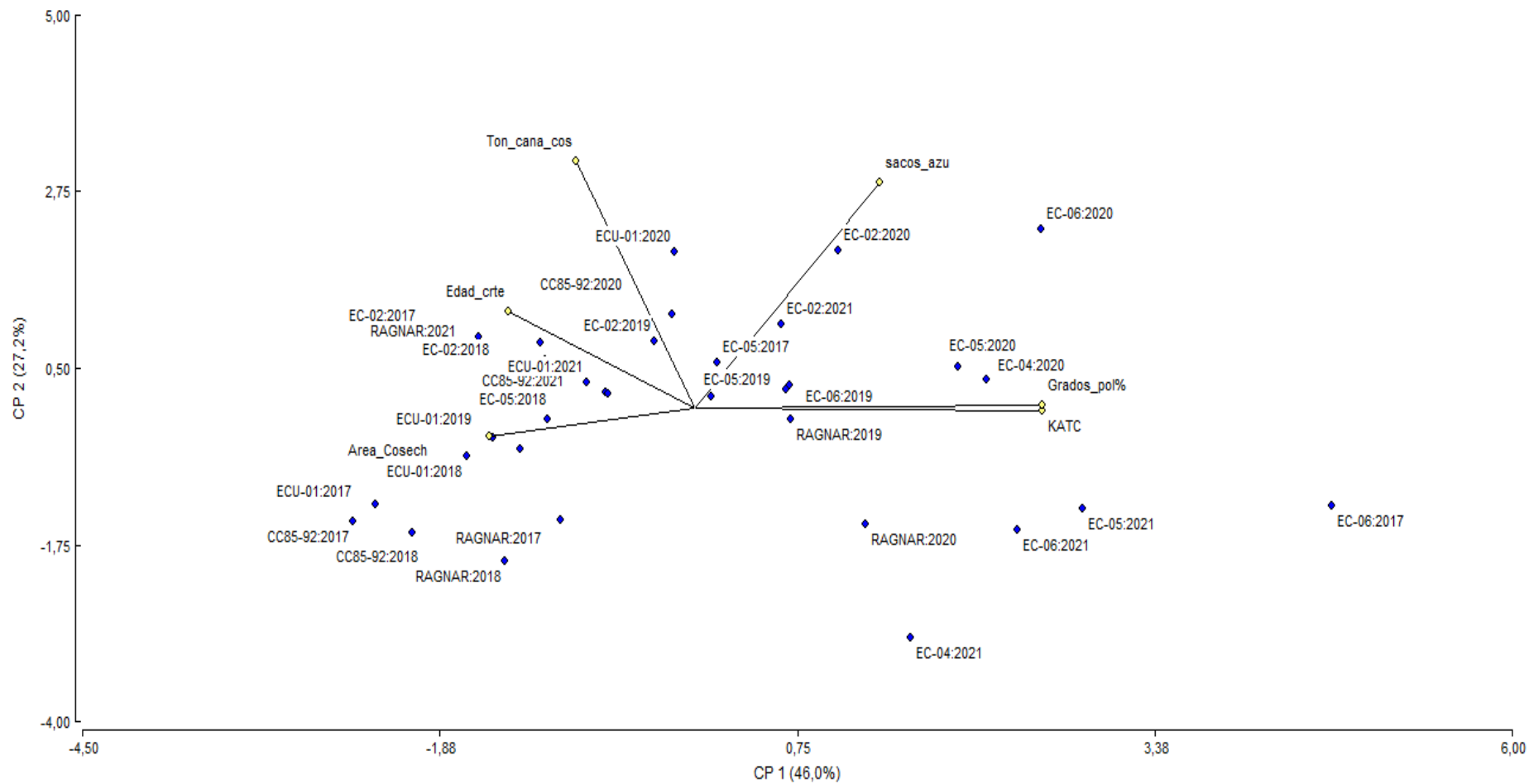


Figura 20. Análisis de componentes principales durante el periodo 2017-2021

<<Continuación...>>

Humedad relativa	Correlación de Pearson	-.048	-.309	.139	-.156	.121	-.022	.865**	1	.763**	-.409*
	Sig. (bilateral)	.785	.071	.426	.370	.487	.901	.000		.000	.015
	N	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Temperatura	Correlación de Pearson	-.003	-.314	.287	.077	.290	.065	.936**	.763**	1	.230
	Sig. (bilateral)	.987	.066	.094	.659	.091	.710	.000	.000		.183
	N	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Heliofanía	Correlación de Pearson	.037	.015	.363*	.472**	.422*	.146	.063	-.409*	.230	1
	Sig. (bilateral)	.833	.931	.032	.004	.011	.403	.719	.015	.183	
	N	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35

* La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

4.3.4. Análisis comparativo de variedades de caña de azúcar en el periodo 2012-2021

Las variedades con mayor área cosechada en el cantón Milagro fueron CC85-9 con 8 191.48 ha y ECU-01 con 7 455.44 ha, respectivamente y tal como se observa en la Tabla 21. El Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG (2021), señaló que en Ecuador se cultiva un rango promedio de 86 031 a 139 406 hectáreas de caña de azúcar cada año, las cuales están destinadas tanto a la producción de azúcar como a la elaboración de biocombustibles, siendo uno de los productos con mayor demanda de mano de obra a nivel nacional.

En la Tabla 22 se puede observar que, en toneladas de caña cosechada por hectárea, la variedad más productiva fue EC-02 con 97.84 t/ha. Silva (s,f,) reportó valores experimentales de toneladas de caña cosechada por hectárea (TCH) de 79.7 para la variedad CC85-92, 83.2 t/ha para ECU-01, 76.1 t/ha para EC-02 y 69.4 t/ha para RAGNAR.

Tabla 21: Área cosechada de diversas variedades (2012-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Variables	Unidades	Variedades	Estadístico	Valor	Desv. Error
Área Cosechada	Hectáreas	CC85-9	Media	8191,4800	1551,89743
			Varianza	24083856,28	
			Desviación	4907,53057	
		EC-02	Media	1300,1400	223,50787
			Varianza	499557,678	
			Desviación	706,79394	
		ECU-01	Media	7455,4400	569,87115
			Varianza	3247531,318	
			Desviación	1802,09082	
		RAGNAR	Media	3714,9800	338,73112
			Varianza	1147387,688	
			Desviación	1071,16184	

Tabla 22: Toneladas cosechadas de diferentes variedades (2012-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Variable	Unidad	Variedad	Estadísticos	Valor	Desv. Error
Caña cosechada	t/ha	CC85-9	Media	87,4030	3,84754
			Varianza	148,035	
			Desviación	12,16698	
		EC-02	Media	97,8400	3,82622
			Varianza	146,400	
			Desviación	12,09958	
		ECU-01	Media	88,9800	3,18305
			Varianza	101,318	
			Desviación	10,06568	
		RAGNAR	Media	78,3650	2,67180
			Varianza	71,385	
			Desviación	8,44897	

En la variable sacos de azúcar por hectárea, las variedades que produjeron más sacos por hectárea fueron EC-02 y ECU-01, reportando 166 425 y 154 155, respectivamente (Tabla 23). En este tema, CINCAE (2019) señala que el año 2018 los cañicultores tuvieron una producción de azúcar de 128.6 sacos de 50 kg de azúcar, y los ingenios de 129.5 sacos de azúcar de 50 kg/ha, lo que implica una mejora en el rendimiento de las nuevas variedades mejoradas.

Tabla 23: Sacos de azúcar con diversas variedades (2012-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Variabes	Unidades	Variedades	Estadístico	Valor	Desv. Error
Sacos de azúcar	Número/ha	CC85-9	Media	148,9250	7,80151
			Varianza	608,636	
			Desviación	24,67055	
		EC-02	Media	166,4250	6,81441
			Varianza	464,362	
			Desviación	21,54906	
		ECU-01	Media	154,1550	7,19337
			Varianza	517,445	
			Desviación	22,74742	
		RAGNAR	Media	141,2050	6,43295
			Varianza	413,829	
			Desviación	20,34278	

Respecto a la edad de corte, la variedad RAGNAR tuvo menor edad de corte (12.88 meses) y las demás superaron ligeramente los 13 meses, tal como se aprecia en la Tabla 24. Sobre el particular, CINCAE (2004) señala que la caña de azúcar se cosecha entre los 12 y 14 meses, y luego continua su crecimiento de forma perenne en varios ciclos de rebrote o soca.

Tabla 24: Edad de corte de diversas variedades (2012-2021), en el cantón Milagro, Guayaquil, Ecuador

Variables	Unidades	Variedades	Estadístico	Valor	Desv. Error
Edad de corte	Meses	CC85-9	Media	13,0050	,44612
			Varianza	1,990	
			Desviación	1,41076	
		EC-02	Media	13,1450	,41126
			Varianza	1,691	
			Desviación	1,30052	
		ECU-01	Media	13,3400	,37777
			Varianza	1,427	
			Desviación	1,19462	
		RAGNAR	Media	12,8800	,50636
			Varianza	2,564	
			Desviación	1,60125	

Las variedades con mayor contenido de sacarosa en el jugo (pol %) fueron EC-02 con 11.1 por ciento y RAGNAR con 11.4 por ciento (Tabla 25). CINCAE (2019), señaló que el contenido de sacarosa en el jugo en los principales ingenios del Ecuador el año 2018 osciló entre 9 y 10.1 por ciento pol caña.

Tabla 25: Sacarosa en el jugo de diversas variedades (2012-2021)

Variables	Unidades	Variedades	Estadístico	Valor	Desv. Error	
Sacarosa en el jugo	Grados pol (%)	CC85-9	Media	10,8900	,25796	
			Varianza	,665		
			Desviación	,81575		
		EC-02	Media	11,1000	,28480	
			Varianza	,811		
			Desviación	,90062		
		ECU-01	Media	10,9400	,24953	
			Varianza	,623		
			Desviación	,78909		
		RAGNAR	Media	11,4000	,28480	
			Varianza	,811		
			Desviación	,90062		

Las variedades que reportaron un mayor valor de kilos de azúcar por tonelada de caña (KATC) fueron RAGNAR con 91.29 kg y CC85-9 con 88.13 kg (Tabla 26).

Tabla 26: Kilos de azúcar por tonelada de caña en diversas variedades (2012-2021)

Variables	Unidades	Variedades	Estadístico	Valor	Desv. Error	
KATC (kg azúcar/ton caña)	Kg.	CC85-9	Media	88,1300	3,39241	
			Varianza	115,085		
			Desviación	10,72775		
		EC-02	Media	87,1000	2,10887	
			Varianza	44,473		
			Desviación	6,66883		
		ECU-01	Media	87,3900	1,95491	
			Varianza	38,217		
			Desviación	6,18195		
		RAGNAR	Media	91,2900	2,27735	
			Varianza	51,863		
			Desviación	7,20161		

4.3.5. Análisis de Componentes principales de variables por variedades en diez años (2012-2021)

El análisis de componentes principales del periodo de 10 años determina que existe una correlación entre las variables toneladas de caña cosechada y sacos de azúcar, tal como se aprecia en la Figura 20. A diferencia del análisis de cinco años, la relación de KATC y pol % no es tan estrecha, pero existe.

El análisis de componentes principales del periodo de 10 años determina que existe una correlación entre las variables toneladas de caña cosechada y sacos de azúcar, tal como se aprecia en la Figura 21. A diferencia del análisis de cinco años, la relación de KATC y pol % no es tan estrecha, pero existe.

La matriz de correlación de variables puede apreciarse en la Tabla 27, hallándose correlación positiva alta entre t/ha con sacos de azúcar/ha y positiva moderada de KATC con grados pol y sacos de azúcar, clasificándose en función a una escala de valores de los coeficientes, que cercanos a 0 significan ausencia de correlación entre variables y cercanos a 1, una correlación más fuerte.

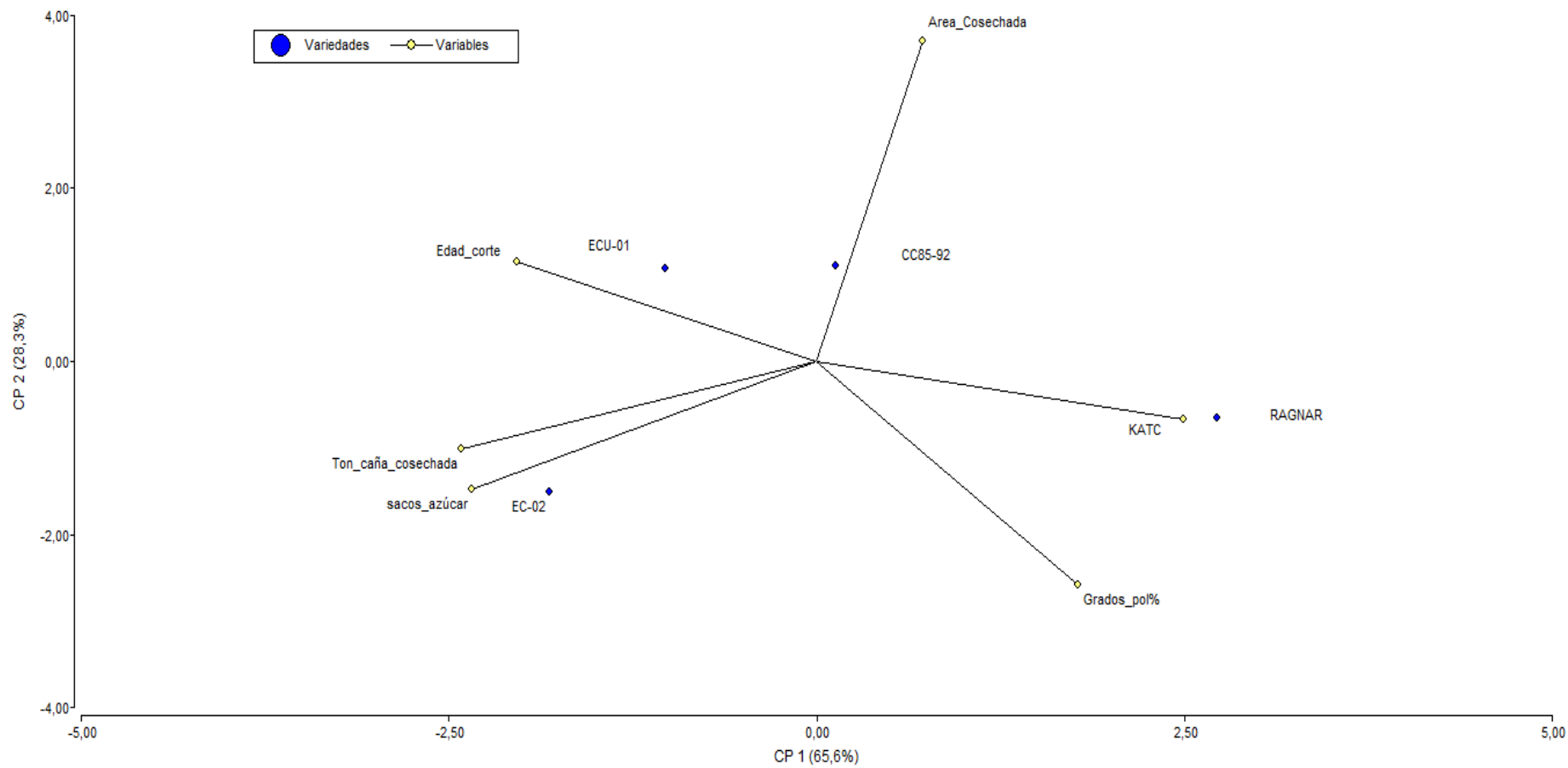


Figura 21. Análisis de componentes principales periodo de 10 años (2012-2021)

Tabla 27: Matriz de correlaciones de variables de variedades de caña (2012-2021)

		Área cosechada	Ton.	Kg. azúcar /Ton. caña	Sacos de azúcar	POL %	Edad de corte	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Heliofanía
Área cosechada	Correlación de Pearson	1	-.237	.290	.027	.347*	-.292	-.049	-.030	-.235	-.042
	Sig, (bilateral)		.142	.070	.867	.028	.068	.765	.856	.145	.795
Toneladas	Correlación de Pearson	-.237	1	.214	.792**	.020	.481**	-.059	-.181	.130	.068
	Sig, (bilateral)	.142		.185	.000	.904	.002	.719	.262	.424	.679
Kg. azúcar/Ton caña	Correlación de Pearson	.290	.214	1	.519**	.623**	.016	-.090	-.209	-.072	.004
	Sig, (bilateral)	.070	.185		.001	.000	.924	.583	.194	.660	.980
Sacos de azúcar	Correlación de Pearson	.027	.792**	.519**	1	.544**	.216	-.027	-.246	.092	.089
	Sig, (bilateral)	.867	.000	.001		.000	.180	.868	.125	.573	.585
POL%	Correlación de Pearson	.347*	.020	.623**	.544**	1	-.302	-.140	-.279	-.170	-.071
	Sig, (bilateral)	.028	.904	.000	.000		.058	.389	.082	.294	.664

<<Continuación...>>

Edad de corte	Correlación de Pearson	-.292	.481**	.016	.216	-.302	1	.456**	.338*	.229	.430**
	Sig, (bilateral)	.068	.002	.924	.180	.058		.003	.033	.155	.006
Precipitación	Correlación de Pearson	-.049	-.059	-.090	-.027	-.140	.456**	1	.833**	.538**	.590**
	Sig, (bilateral)	.765	.719	.583	.868	.389	.003		.000	.000	.000
Humedad relativa	Correlación de Pearson	-.030	-.181	-.209	-.246	-.279	.338*	.833**	1	.527**	.167
	Sig, (bilateral)	.856	.262	.194	.125	.082	.033	.000		.000	.304
Temperatura	Correlación de Pearson	-.235	.130	-.072	.092	-.170	.229	.538**	.527**	1	.094
	Sig, (bilateral)	.145	.424	.660	.573	.294	.155	.000	.000		.564
Heliofanía	Correlación de Pearson	-.042	.068	.004	.089	-.071	.430**	.590**	.167	.094	1
	Sig, (bilateral)	.795	.679	.980	.585	.664	.006	.000	.304	.564	

* La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral)

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral)

4.4. INFLUENCIA DEL AGOSTE EN LA MADURACIÓN Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

4.4.1. Variables de calidad de la caña

La presente investigación no reportó significancia estadística en las variables de calidad de caña al agostar entre 30 a 90 días previo a la cosecha, alcanzando un promedio similar de 15° Pol en caña, 87 por ciento de pureza, 12 por ciento de fibra y 71.99 por ciento de humedad.

a. Pol en caña

Para la variable pol en caña, en la Prueba T al 0.05 de error para la comparación antes y después entre la media inicial y la media final, no se halló diferencia significativa para los cinco tratamientos de distintos momentos de inicio de agoste. El análisis estadístico demuestra que no hay diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento (p -valor >0.05) entre las evaluaciones de inicio y final de agostamiento por tratamientos. El agoste no influyó en el contenido de pol. Los promedios de pol de los tratamientos pueden visualizarse en la Tabla 28 y la Figura 22, que se muestran a continuación.

Tabla 28: Comparación del porcentaje de POL caña previo (inicial) y al final del agoste (final)

Tratamiento	Agoste	Inicial media	Final media	Inicial		Final		p valor
				min	máx	Mín	máx	
T1	9 meses	9.5±10 a	12.5±1.73 a	9.70	12.68	13.34	17.84	0.808
T2	9.5 meses	9±2.16 a	14.5±1.29 a	6.58	13.67	15.68	18.89	1.00
T3	10 meses	8.25±0.95 a	12.5±1.73 a	8.37	11.39	13.14	18.34	0.698
T4	10.5 meses	10±1.40 a	13.5±1.29 a	9.16	13.65	14.09	18.12	0.452
T5	11 meses	8.5±1.29 a	13.5±0.57 a	8.32	12.14	14.93	17.00	0.106

a: No hubo diferencia significativa

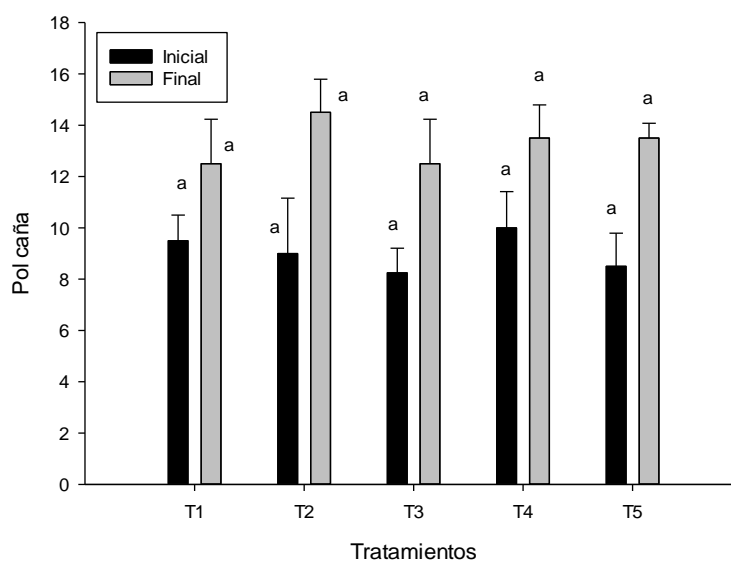


Figura 22. Gráfico de barras del POL inicial y POL final por tratamientos, letras iguales no son estadísticamente significativas

Sobre el particular, en el Ingenio Tres Valles de Honduras, Martínez (2008) halló diferencias significativas de °Pol para agostes de 20 y 30 días previo a la cosecha. Sin embargo, Méndez (2022) no halló diferencia significativa para °Pol en tratamientos de agoste entre 55 y 62 días previo a la cosecha en Tabasco, México. Asimismo, Flores (2017) tampoco encontró diferencia significativa en °Pol para agostes en el cantón Milagro, el mismo de la presente investigación.

b. Brix en caña

Al suspenderse el riego a los nueve meses (T1), no se evidenció diferencia estadística ($p > 0.05$) entre los grados brix (jugo) evaluado previo y fin al agoste con promedio que oscilaron entre 14.1 a 17.19. Seguidamente se destacaron los tratamientos T2, T3, T4, y T5 que señalan diferencia estadística ($p < 0.05$) entre los promedios del inicio al agoste y fin de este. Cabe mencionar que el T5 (11 meses) fue altamente significativo ($p < 0.01$) con valores de grados brix inicial y final que oscilaron entre 13.4 a 18.16 (Tabla 29).

Tabla 29: Comparación de grados Brix jugo entre caña previo (inicial) y fin (final) al agoste

Tratamientos	Agoste	n	Inicial media	Final media	Inicial		Final		p valor
					mín	máx	mín	máx	
T1	9 meses	4	14,1±0,9 a	17,19±1,64 a	12,99	15,05	15,97	19,62	0,0614
T2	9.5 meses	4	13,58±2,46 a	19,23±1,09 b	10,37	16,29	17,87	20,39	0,0228
T3	10 meses	4	13,38±1,2 a	17,44±1,86 b	11,83	14,44	16,3	20,21	0,0167
T4	10.5 meses	4	14,83±1,63 a	18,71±0,86 b	12,61	16,11	17,8	19,86	0,0482
T5	11 meses	4	13,4±1,11 a	18,16±0,79 b	12,24	14,91	17,04	18,78	0,001

a: No hubo diferencia significativa

b: Hubo diferencia significativa

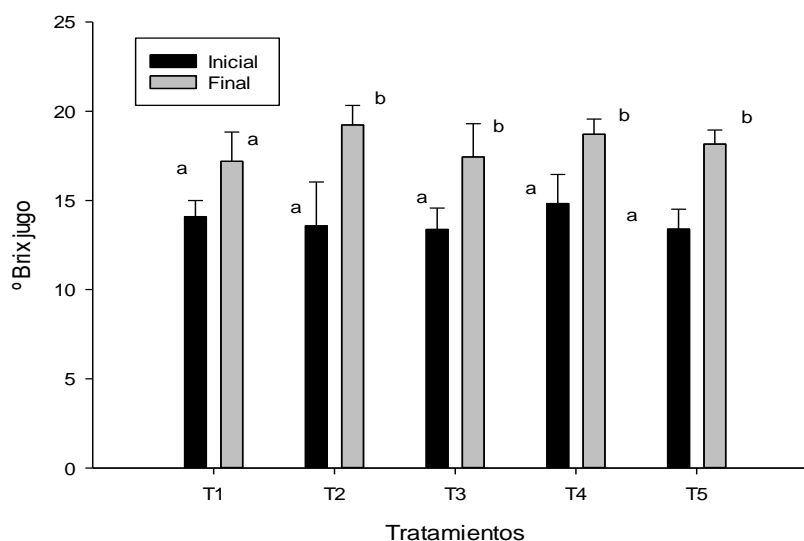


Figura 23. Gráfico de barras del BRIX inicial y BRIX final por tratamientos, letras iguales no son estadísticamente significativas

En el presente trabajo de investigación la caña de azúcar presentó valores para grados brix entre 13.38°Bx y 19.23°Bx para la variedad CC85-92, mientras que Aguirre y Poveda (2011) establecen que los grados brix promedios deben oscilar entre 10°Bx a 16°Bx respectivamente; por otra parte Ramón (2021), reportó que en la variedad CC 85-92 los grados brix se encuentran 22.58 °Bx, lo cual indica que el presente trabajo de investigación cumple con los estándares planteados por la industria azucarera.

c. Pureza

En cuanto a los valores de pureza, la prueba T para muestras relacionadas indica ausencia de diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los dos periodos de evaluación, por lo cual, se concluye que el agostamiento aplicado entre 9 a 11 meses no afectó el porcentaje de pureza en caña de azúcar, como puede apreciarse en la Tabla 30 y la Figura 24.

Tabla 30: Comparación del porcentaje de pureza en caña previo (inicial) y al final del agoste (final)

Tratamientos	Agoste	n	Inicial	Final	Inicial		Final		p valor
			media	media	min	máx	Min	máx	
T1	9 meses	4	80.27±4.42 a	86.72±3.10 a	74.67	84.25	83.53	90.93	0.982
T2	9.5 meses	4	75.97±8.96 a	89.98±2.08 a	63.45	83.92	87.74	92.64	0.907
T3	10 meses	4	75.96±3.75 a	84.78±4.44 a	70.75	78.88	80.07	90.75	0.842
T4	10.5 meses	4	79.78±5.37 a	85.75±6.60 a	72.64	84.73	71.91	77.27	0.896
T5	11 meses	4	75.67±5.63 a	87.96±2.92 a	67.97	81.42	83.98	90.52	0.673

a: No hubo diferencia significativa

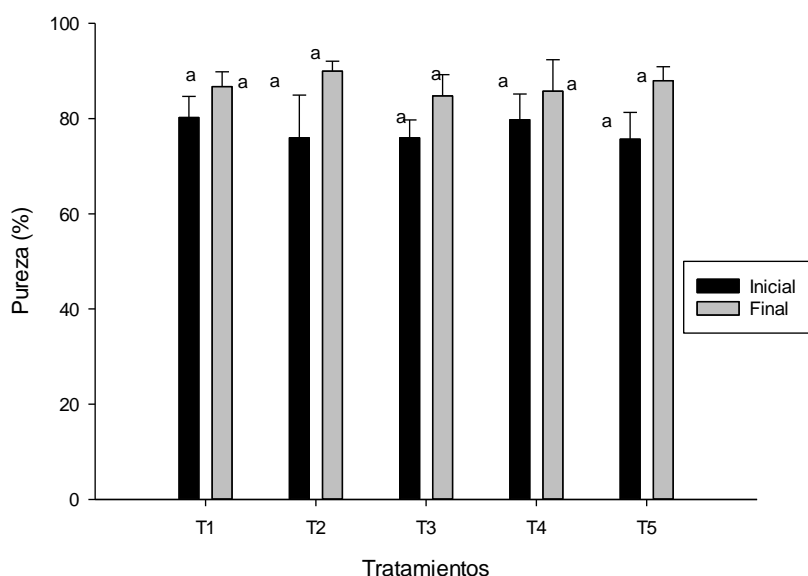


Figura 24. Gráfico de barras de la pureza inicial y final por tratamientos, letras iguales no son estadísticamente significativas

Martínez (2008) halló diferencia significativa para la variable pureza en tratamientos de agoste de 10 y 40 días previo a la cosecha. Sin embargo, Flores (2017) no halló diferencia significativa en agoste para la variable pureza, lo cual coincide con el presente estudio.

d. Fibra

En la variable de porcentaje de fibra en caña no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos de inicio de agoste, tal como se presenta en la Tabla 31 y Figura 25.

Tabla 31: Comparación del porcentaje de fibra en caña previo (inicial) y al final del agoste

Tratamiento	Agoste	n	Inicial	Final	Inicial		Final		p valor
			media	media	min	máx	Min	máx	
T1	9 meses	4	12.755±0.89 a	12.47±0.77 a	12.1	14.02	11.67	13.52	0.558
T2	9.5 meses	4	12.10±0.86 a	12.66±0.34 a	11.3	13.24	12.27	13.05	0.624
T3	10 meses	4	12.51±0.37 a	11.74±0.82 a	12.05	12.89	11.01	12.53	0.927
T4	10.5 meses	4	13.05±1.12 a	11.48±1.42 a	11.58	14.28	10.01	13.22	0.553
T5	11 meses	4	12.6±0.58 a	11.89±0.47 a	11.82	13.06	11.26	12.40	0.635

a: No hubo diferencia significativa

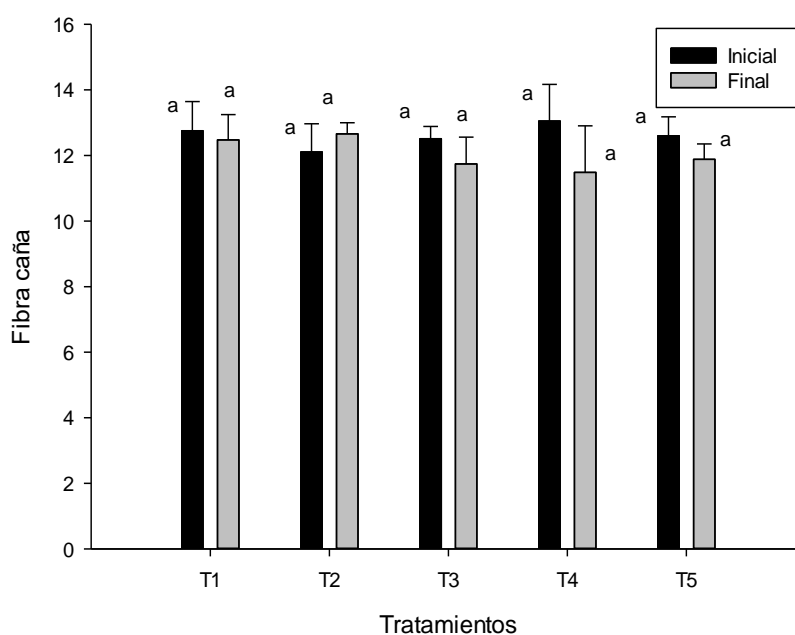


Figura 25. Gráfico de barras de fibra inicial y final por tratamientos, letras iguales no son estadísticamente significativas

Flores (2017) reportó diferencia estadística para porcentaje de fibra en el cantón Milagro en Ecuador, y Martínez (2008) reportó valores de 10.6 a 11 por ciento de fibra con agostes de 10, 20, 30 y 40 días previo a la cosecha en Honduras.

e. Humedad

La humedad en caña es un indicador del efecto que puede tener la suspensión del riego. Sin embargo, al contrastar las evaluaciones de humedad al inicio y final del agostamiento, no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos, tal como se aprecia en la Tabla 32 y Figura 26, por lo que se concluye que el agoste entre los 9 y 11 meses no tuvo efecto sobre la humedad en caña.

Tabla 32: Comparación del porcentaje de humedad en caña previo (inicial) y al final del agoste

Tratamientos	Agoste	n	Inicial	Final	Inicial		Final		p valor
			media	media	min	máx	Min	máx	
T1	9 meses	4	74,95±1,49 a	72,48±2,00 a	73,04	76,43	69,52	73,72	0,508
T2	9,5 meses	4	75,97±2,86 a	70,54±1,22 a	72,63	79,5	69,22	72,05	0,858
T3	10 meses	4	75,79±1,38 a	72,87±2,12 a	74,53	77,55	69,92	74,43	0,604
T4	10,5 meses	4	74,06±2,34 a	71,96±1,83 a	71,91	77,27	69,54	73,38	0,348
T5	11 meses	4	75,69±1,41 a	72,11±0,87 a	74,01	77,39	71,27	73,08	0,061

a: No hubo diferencia significativa

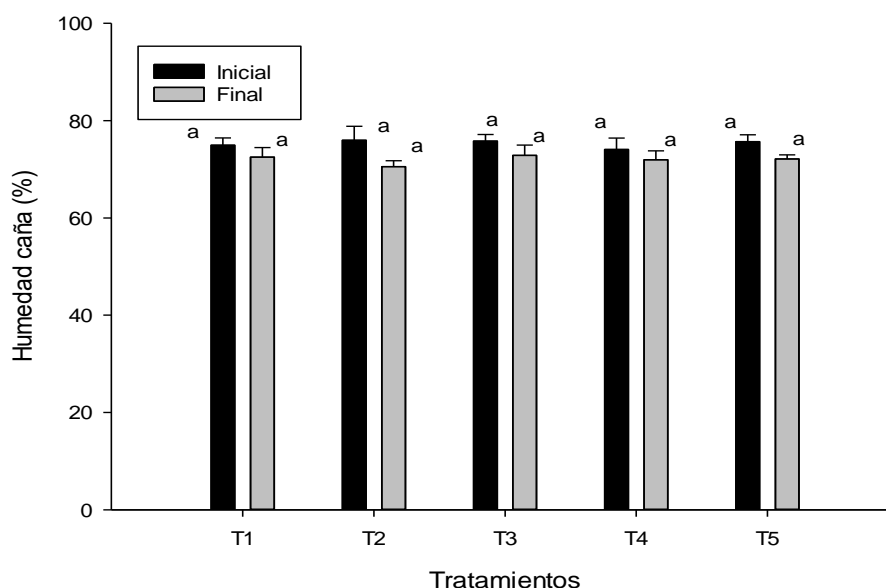


Figura 26. Gráfico de barras del porcentaje de humedad inicial y final por tratamientos

Respecto a humedad en caña, Martínez (2008) reportó valores de 66.50 a 69.50 por ciento en Honduras, mientras que Flores (2017) reportó valores de 65.08 y 69.57 por ciento de humedad en el cantón Milagro en Ecuador.

4.4.2. Variables agronómicas en caña de azúcar

a. Diámetro del tallo (mm)

El T3 (10 meses de edad del cultivo) difirió significativamente ($p < 0.05$), al contrastar los valores previos (media inicial) y al final del agoste (media final), con valores de 25.00 cm y 27.60 cm, respectivamente. El resto de los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas, contrastando sus valores previos y al final del agoste. En síntesis, se evidencia que el agoste a los 10 meses del cultivo influye en el diámetro del tallo (Tabla 33, Figura 27).

Tabla 33: Comparación del diámetro del tallo en caña previo (inicial) y al final del agoste (final)

Tratamientos	Agoste	n	Inicial media	Final media	Inicial		Final		p valor
					Min	máx	Min	máx	
T1	9 meses	4	27.05±1.99 a	28.86±1.99 a	24.8	29.4	26.2	31.02	0.3162
T2	9.5 meses	4	26.2±0.59 a	26.3±3.60 a	25.6	26.8	22.2	29.8	0.9513
T3	10 meses	4	25.0±1.50 a	27.6±1.77 b	23.22	26.8	25.2	29.4	0.0013
T4	10.5 meses	4	26.5±1.94 a	27.3±5.32 a	24.80	29.3	22.6	33.6	0.8114
T5	11 meses	4	26.48±0.83 a	27.25±4.91 a	25.90	27.7	23.6	34.2	0.7927

a: No hubo diferencia significativa

b: Hubo diferencia significativa

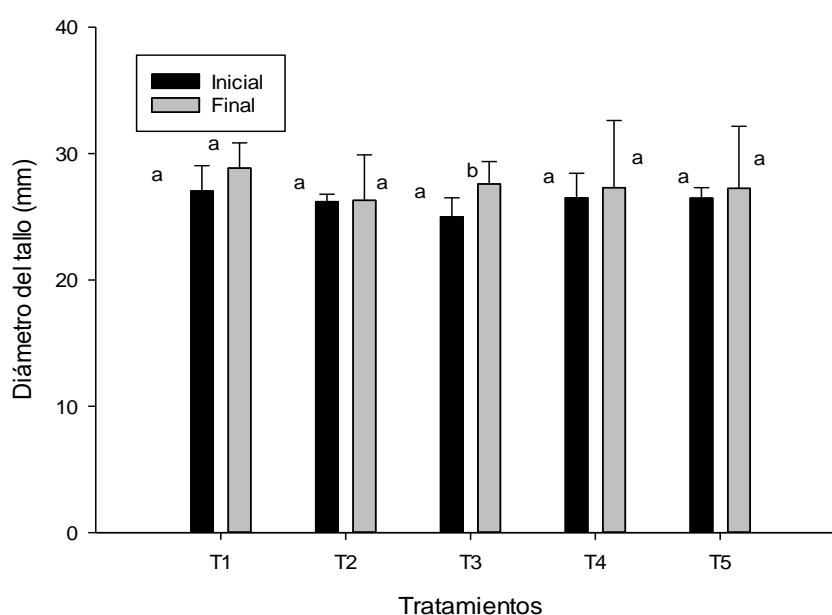


Figura 27. Gráfico de barras del diámetro del tallo inicial y final por tratamientos

b. Longitud de entrenudos (cm)

En la estimación del efecto del agoste en la longitud de entrenudos, se puede señalar que sólo el T2 (9.5 meses de agostamiento) fue significativo ($p < 0.05$) entre la evaluación previa y al final del agoste con promedios que oscilaron entre 15.82 cm – 18.18 cm, tal como se aprecia en la Tabla 34 y la Figura 28.

Tabla 34: Comparación del promedio de longitud de entrenudos en caña previo (inicial) y al final del agoste (final)

Tratamientos	Agoste	n	Inicial		Final		p valor		
			media	media	min	máx	Min	máx	
T1	9 meses	4	17.05±1.26 a	17.28±1.98 a	15.46	18.53	15	19.8	0.8599
T2	9.5 meses	4	15.82±0.95 a	18.18±1.11 b	16.68	19.09	15.1	17.22	0.0162
T3	10 meses	4	16.91±1.27 a	17.68±2.0 a	15.16	17.98	15.9	20.25	0.671
T4	10.5 meses	4	17.82±2.57	21.0±2.19 a	15.63	20.81	18.45	23.8	0.2256
T5	11 meses	4	15.79±1.29 a	17.93±3.55 a	14.1	16.82	12.95	20.9	0.4061

a: No hubo diferencia significativa

b: Hubo diferencia significativa

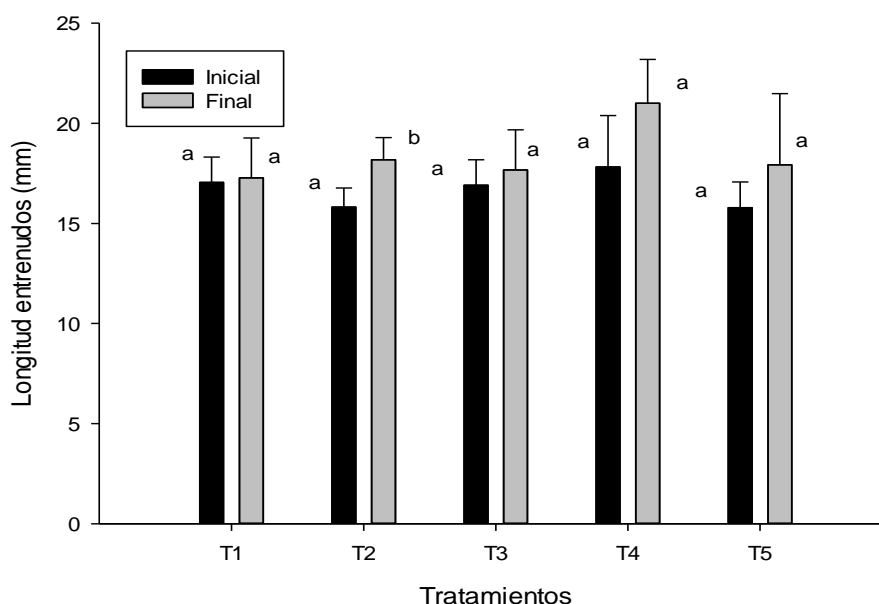


Figura 28. Gráfico de barras de la longitud de entrenudos inicial y final por tratamientos

c. Número entrenudos

Los tratamientos T1 (9 meses) y T2 (9.5 meses) presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los promedios de entrenudos al inicio y al final del agoste, con valores de 16.25 y 19.1 entrenudos para T1 y 14.00 y 20.05 entrenudos para T2. Por lo tanto, el tiempo de agoste influye en el número de entrenudos, tal y como se observa en la Tabla 35 y la Figura 29.

Tabla 35: Comparación del número de entrenados caña previo (inicial) y al final del agoste (final)

Tratamientos	Agoste	N	Inicial media	Final media	Inicial		Final		p valor
					Mín	máx	min	máx	
T1	9 meses	4	16.25±0.87 a	19.1±1.65 b	15.5	17.5	17.6	21.2	0.0191
T2	9.5 meses	4	14.00±1.22 a	20.05±1.91 b	12.5	15.5	17.8	22.4	0.0232
T3	10 meses	4	16.38±1.93 a	17.5±1.27 a	14.5	18.5	15.8	18.8	0.3197
T4	10.5 meses	4	14.88±2.29 a	17.45±3.23 a	12	17.5	14	20.2	0.2361
T5	11 meses	4	16.15±1.66 a	18.7±3.23 a	14.1	17.5	16.4	23.4	0.1966

a: No hubo diferencia significativa

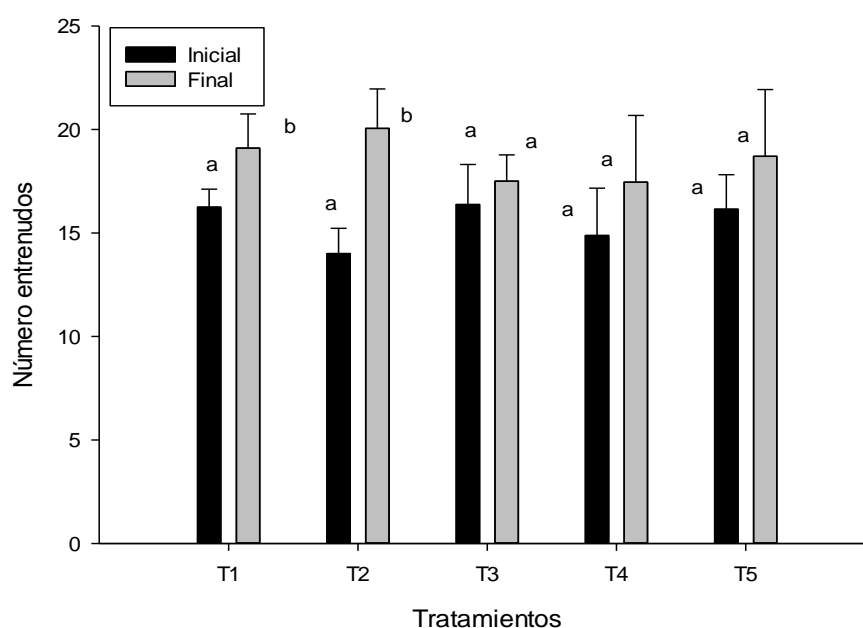


Figura 29. Gráfico de barras para el número de entrenados inicial y final por tratamientos

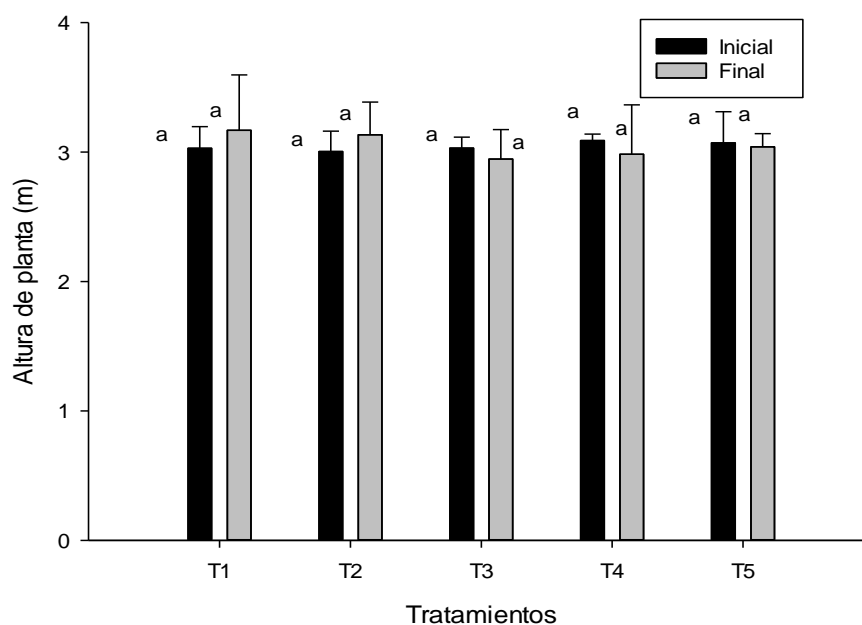
d. Altura de planta (m)

En la variable altura de planta, ninguno de los tratamientos de agoste muestra diferencia significativa ($p > 0.05$) durante la evaluación previa y al final del agoste, siendo mayores a 0.05 todos los p-valores hallados (Tabla 36 y Figura 30).

Tabla 36: Comparación de la altura de planta previo (inicial) y al final del agoste

Tratamientos	Agoste	n	Inicial		Final		p valor		
			media	media	Min	máx	Min	máx	
T1	9 meses	4	3.03±0.17 a	3.17±0.43 a	2.87	3.24	2.82	3.65	0.7947
T2	9.5 meses	4	3.00±0.16 a	3.13±0.25 a	2.9	3.24	2.75	3.29	0.4311
T3	10 meses	4	3.03±0.08 a	2.95±0.23 a	2.92	3.12	2.7	3.25	0.6237
T4	10.5 meses	4	3.09±0.05 a	2.98±0.38 a	3.03	3.13	2.5	3.37	0.6501
T5	11 meses	4	3.07±0.24 a	3.04±0.10 a	2.73	3.28	2.9	3.14	0.8366

a: No hubo diferencia significativa

**Figura 30. Gráfico de barras de la altura de planta inicial y final por tratamientos**

Sobre el particular, Castañeda *et al.* (2005) reportaron un promedio de 2.3 metros de longitud de tallo en México, ligeramente inferior al presente estudio. En general, la longitud del tallo depende de varios factores agronómicos, genéticos y climáticos.

e. Toneladas cosechadas por hectárea

Todos los tratamientos mostraron un incremento de las toneladas de caña cosechada por hectárea a lo largo del tiempo. Sin embargo, la comparación de promedios para muestras relacionadas establece que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los diferentes tratamientos, De este modo, se puede afirmar que el agostamiento a partir de los nueve meses no afectó el rendimiento de caña por hectárea (Tabla 37 y Figura 31).

Tabla 37: Comparación del TCH entre caña previo (inicial) y al final del agoste

Tratamiento	Agoste	n	Inicial	Final	Inicial		Final		p valor
			media	media	min	máx	Min	máx	
T1	9 meses	4	95.75±21.65 a	119±16.99 a	74.48	118.95	99.62	136.61	0.672
T2	9.5 meses	4	90±7.61 a	109.25±11.70 a	82.1	96.86	98.44	124.31	0.99
T3	10 meses	4	88.25±14.38 a	114.25±33.25 a	73.83	103.16	85.92	156.32	0.135
T4	10.5 meses	4	108.5±18.73 a	134.75±27.70 a	82.46	123.85	108	172.01	0.382
T5	11 meses	4	91.5±38.62 a	117±33.21 a	54.17	144.05	75.58	145.18	0.345

a: No hubo diferencia significativa

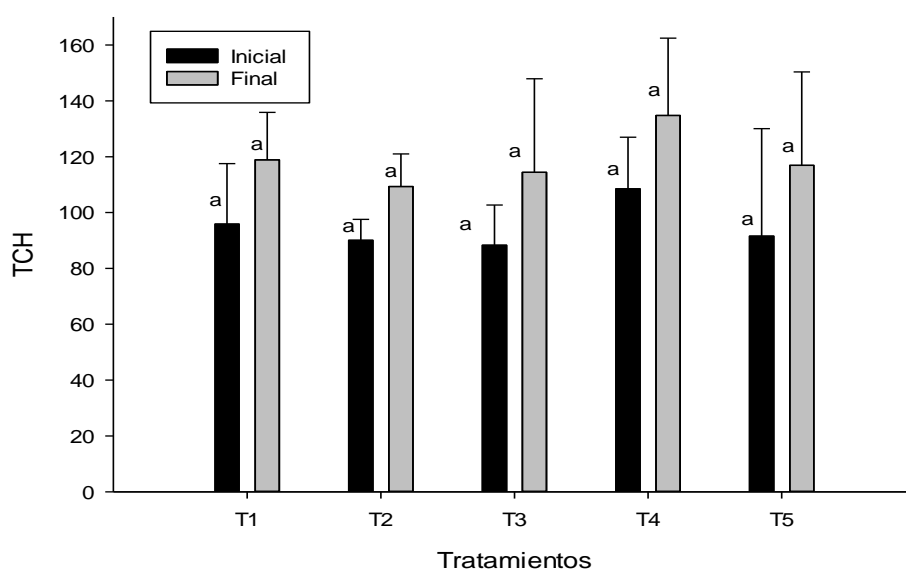


Figura 31. Gráfico de barras de toneladas de caña por hectárea inicial y final por tratamientos

Castañeda *et al.* (2005), reportaron un promedio de 98.92 t/ha en México, inferior a los valores de toneladas cosechadas por hectárea del presente estudio, no encontrándose diferencias en TCH cuando el riego se suspendió en diferentes periodos de 90 a 30 días previa cosecha. Asimismo, señalaron que el proceso de agoste a los 8.5 meses de edad del cultivo tiene efecto en el rendimiento.

Flores (2017), reportó que el rendimiento el TCH osciló entre 92.74 a 97.67 en los tratamientos de ocho, nueve, 10 y 11 meses de edad, lo que significa 120, 90, 60 y 30 días de agoste en Ecuador, respectivamente.

f. Kilos de azúcar por tonelada de caña

De acuerdo con el presente trabajo de investigación, se establece que para la variable rendimiento expresado en kilogramos de azúcar por tonelada de caña (KATC), en la variedad CC 85-92, se obtuvieron promedios que oscilan entre 100.32 y 115.95, mientras que para la misma variable en la variedad el CINCAE (2013) obtuvo rendimientos que oscilaron en 121.2 kg/t de caña, respectivamente (Tabla 38).

Tabla 38: Rendimientos en kg/t de azúcar

Tratamientos	n	Media (kct)	p valor
T1	4	100.32±12.03 a	0.254
T2	4	115.97±8.51 a	
T3	4	100.89±15.2 a	
T4	4	109.58±9.1 a	
T5	4	108.45±6.53 a	
C.V		10.01%	

a: No hubo diferencia significativa

g. Sacos de azúcar por tonelada de caña

De acuerdo con el trabajo realizado en la presente investigación, se establece que para la variable rendimiento expresado en sacos de azúcar por tonelada de caña (SATC), en la variedad CC 85-92, los resultados oscilaron entre 2.01 y 2.32 (SATC), lo cual concuerda con el CINCAE (2013) que para la misma variedad se obtuvieron promedios de 2.02 KATC, respectivamente (Tabla 39).

Tabla 39: Promedio de sacos de azúcar por tonelada de caña

Tratamientos	n	Medias (SATC)	p valor
T1	4	2.01±0.24 a	0.2552
T2	4	2.32±0.17 a	
T3	4	2.02±0.3 a	
T4	4	2.19±0.18 a	
T5	4	2.17±0.13 a	
C.V		9.96%	

a: No hubo diferencia significativa

El presente estudio es uno de los pocos reportes de agostamiento en la zona del cantón Milagro en Ecuador, hallando que la suspensión del riego tiene influencia sobre variables agronómicas tales como la longitud de entrenudos, número de entrenudos y diámetro del tallo, aunque no en el rendimiento de caña.

Las discrepancias reportadas por otros autores se explican en base a factores tales como la textura del suelo, la profundidad de la napa freática, las condiciones climáticas y las variedades cultivadas, tal como señala Helfgott (2016).

V. CONCLUSIONES

- El nivel tecnológico del cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro, Provincia de Guayas, Ecuador, no es muy alto debido a que se emplea el sistema de riego por gravedad, así como un moderado nivel de mecanización agrícola.
- El cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro no es sustentable de acuerdo con la metodología de “Análisis Multicriterio”, porque su Índice General de Sustentabilidad es menor al valor de referencia de 2 y los indicadores económico y ecológico tampoco superan dicho valor.
- El cultivo de caña de azúcar en el cantón Milagro es sustentable en la dimensión social pero no es sustentable en las dimensiones económica y ecológica.
- Las variedades de caña de azúcar de mejor desempeño en el cantón Milagro, en el periodo de 10 años (2012-2021), fueron ECU-01 y EC-02, las cuales obtuvieron rendimientos de caña (TCH) de 88.9 y 97.8, respectivamente. En la variable rendimiento de azúcar (KATC), los materiales más eficientes fueron RAGNAR y CC85-92 con medias de producción de 91.3 y 88.1 en su orden.
- En el periodo de 5 años (2017-2021), se incorporaron nuevas variedades tales como EC-05 y EC-06, con desempeños resaltantes en las variables contenido de sacarosa en el jugo (grados pol%) y rendimiento de azúcar (KATC) obteniendo medias de producción de entre 11.3 a 11.92 y 90.44 a 95.74, respectivamente.
- El riego posterior a los nueve meses del desarrollo del cultivo no es necesario, bajo las condiciones del cantón Milagro, ya que los resultados obtenidos de las variables de calidad y agronómicas, tales como el pol y las TCH, no presentaron variabilidad estadística entre tratamientos.

VI. RECOMENDACIONES

Promover una agricultura más sostenible y resiliente en las zonas cañeras de Ecuador, implementando alternativas como:

- En el tema de toma de decisiones, en la regularización de los precios, se debería considerar la participación de gremios de cañicultores quienes son un eslabón importante en la cadena de producción.
- Se debería dar un valor agregado al cultivo, obteniendo subproductos como panela, dulces, jugos entre otros y no solo verlo como materia prima para la obtención de azúcar.
- En el ámbito de sanidad, se debería incentivar la utilización de controles biológicos que disminuyan la carga química al cultivo y la contaminación de estos al medio ambiente.
- Implementar sistemas de riego más eficientes que el riego por gravedad, tales como la irrigación por goteo, monitoreando los niveles de humedad del suelo para evitar el desperdicio de agua.
- Concientizar la cosecha en verde para minimizar la degradación de los suelos y pérdidas de microfauna, evitando la quema previa a la cosecha.
- Realizar estudios considerando el ámbito geográfico y variantes ambientales de las diferentes zonas cañeras de Ecuador.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AG - Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2016. La política agropecuaria ecuatoriana hacia el desarrollo rectorial rural sostenible 2015-2025. Quito: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Aguilar, N. 2009. Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar. SAGARPA. México, 20 p. Visitado el 14 de marzo del 2022.
- Alcalá, O. 2016. El mapa conceptual como herramienta para mejorar la comprensión de las medidas de tendencia central y variabilidad de la estadística descriptiva. Universidad Andrés Bello. Caracas, Venezuela. 108 p.
- Almeida, M. 2017. Producción sustentable de la caña de azúcar: Modificación de la ley azucarera (Ley 19597). Trabajo final de graduación en Abogacía. Universidad Empresarial Siglo Veintiuno. Córdoba, Argentina. 128 p.
- Álvarez, J. 2020. Evaluación de productividad de dos variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) bajo tres distanciamientos de siembra. Tesis de grado. Universidad Agraria del Ecuador. Milagro, Guayas, Ecuador. 81 p.
- Angel, A. 2018. Importancia del conocimiento de las fases fisiológicas del cultivo de la caña de azúcar para realizar el manejo agronómico. Tesis de grado. Universidad Técnica de Machala. 35 p.
- Anzules, V; Pazmiño, E; Borjas, R; Alvarado, L, Castro, V; Julca, A. 2021. Sustentabilidad de las fincas productoras de cacao en Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(2):1-15.

- Armida, L; Osorio, F; José, R; Ramírez, S. 2020. Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de suelos con caña de azúcar y maíz bajo condiciones de riego y temporal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3):1-9.
- Aroca, E. 2021. Efecto de la quema de la caña de azúcar sobre la productividad y calidad del suelo en la zona de Milagro. Tesis de grado. Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo, Ecuador. 33 p.
- Barrantes, J. 2011. El cambio varietal en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como producto de la sistematización en la selección genética en la región sur de Costa Rica. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar – DIECA. Costa Rica. 16 p.
- Blacio, B. 2017. Generación de energía a partir de bagazo de caña de azúcar para el Ingenio Zucarsa S.A. Tesis de grado. Universidad Espíritu Santo, Ecuador. 169 p.
- Burgos, J. 2015. Estudio de la lámina óptima de riego para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la parroquia San Carlos del cantón Naranjal - provincia del Guayas. Tesis de grado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 91 p.
- Cabrera, J; Zuaznábar, R. 2010. Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del Carbono. *Cultivos Tropicales*, 31 (1): 5-13.
- Cadena, D. 2021. Sustentabilidad de fincas productoras de arroz bajo riego en el cantón Babahoyo, Ecuador. Tesis doctoral. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 102 p.
- Caicedo, O; Soplín, H; Balmaseda, C; Cadena, L; Leyva, M. 2020. Sustentabilidad de sistemas de producción de banano (*Musa paradisiaca* AAA) en Babahoyo, Ecuador. *Investigación Operacional*, 41 (3): 379-388.

- Calderón, Y. 2017. Evaluación socioeconómica de los productores del cultivo de caña de azúcar orientado a la elaboración de bio-etanol en el cantón Caluma de la provincia de Bolívar. Proyecto de graduación para la obtención del título de Economista. Universidad Central del Ecuador. Ecuador. 95 p.
- Carrera, P; Loyola, E; Iglesias, S. 2010. Impacto ambiental ocasionado por la quema de la caña de azúcar en Laredo, Trujillo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, 3(26): 91–95.
- Méndez, J. 2012. Suspensión del riego en caña de azúcar durante la maduración: efecto en el rendimiento y calidad del jugo. 86 p.
- Castillo, R; Mendoza, J. 2011. EC-03 (ECSP2000-179) y EC-04 (ECSP2000-215), Nuevas variedades de caña de azúcar para la cuenca baja del río Guayas. Boletín Informativo Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador - CINCAE, 13(2):1-5.
- Castillo, R; Silva, E. 2004. Fisiología, floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en el Ecuador. Publicación Técnica No, 3. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE, 3:19-25.
- Castillo, R; Mendoza, J; Silva, E; Aucatoma, B; Salazar, M; Vásquez, E. 2009. EC-02 Nueva variedad de caña de azúcar para la costa ecuatoriana. Carta informativa, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE, El Triunfo. Visitado el 14 de marzo del 2022. Disponible en: <https://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/Año-11-No.-2.pdf>
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar – CENGICANA. 2014. El Cultivo de Caña de Azúcar en Guatemala. 526 p.
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar – CENGICANA. 2017. Guía de buenas prácticas agrícolas en caña de azúcar. Documento público. 84 p.

CINCAE. 2022. Informe Anual 2021. Recuperado el 1 de septiembre de 2023. Disponible en: <https://cincae.org/wp-content/uploads/2022/06/Informe-Anual-2021.pdf>

CINCAE. 2008. Búsqueda de la dosis óptima de fósforo y evaluación del efecto actual y residual en la producción y rendimiento de caña de azúcar. Milagro: CINCAE.

Corporación Financiera Nacional – CFN. 2020. Ficha sectorial azúcar. Agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, industrias manufactureras y comercio. Presentación sector azucarero. 27 p. Visitado el 14 de marzo del 2022. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2020/ficha-sectorial-4-trimestre-2020/FS-Azucar-4T2020.pdf>

Corporación Financiera Nacional – CFN. 2021. Ficha sectorial. Cultivo de caña de azúcar: Elaboración y refinado de azúcar de caña y melaza de caña, remolacha azucarera, etc, venta al por mayor de azúcar, chocolate y productos de confitería. 29 p.

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE. 2007. Primera variedad mejorada de caña de azúcar del Ecuador ECU-01. Informe técnico CINCAE, El Triunfo, Ecuador. 2 p. Visitado el 14 de marzo del 2022. Disponible en: <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/05/Variedad-ECU-01.pdf>

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE. 2004. Fisiología, floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en Ecuador. Publicación Técnica N°3. 17 p.

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE. 2011. EC-03 y EC-04, nuevas variedades de caña de azúcar de CINCAE. *Carta Informativa*, 13(2):1-20.

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE. 2017. Factores que afectan la calidad de la caña de azúcar. *Carta informativa*, 17(2):1-8.

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE. 2019. Producción de caña y azúcar en Ecuador: Zafra 2018. Visitado el 24 de noviembre del 2021.

Disponible en: <https://cincae.org/prod-zafra/>

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE. 2020. Informe Anual 2020. El Triunfo, Ecuador. 70 p. <https://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/Informe-Anual-2020.pdf>

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE. 2022. Publicaciones de Variedades. Visitado el 30 de mayo del 2023. Disponible en: <https://cincae.org/publicaciones-de-variedades/>

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE. 2023. Laboratorio Químico. El Triunfo, Ecuador. Visitado el 4 de abril del 2023. Disponible en: <https://cincae.org/laboratorio-quimico/>

Collantes, R; Rodríguez, A. 2015. Sustentabilidad de los agroecosistemas de palto (*Persea americana* Mill.) y mandarina (*Citrus* spp.) en Cañete. Lima, Perú. *Tecnología y Desarrollo*, 13 (1): 27-34.

Contreras, A. 2009. Impactos ambientales de la producción de agrocombustibles en base a caña de azúcar en la costa sur de Guatemala. Dirección General de Investigación. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala, 60 p.

Dancé, J; Sáenz, D. 2016. La cosecha de caña de azúcar: Impacto económico, social y ambiental, Dirección de Investigación. Universidad San Martín de Porres. Lima, Perú, 18 p.

Dávila, D. 2014. Evaluación de dos sistemas de siembra en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para la obtención de semilla en la provincia del Cañar, cantón La Troncal. Tesis de grado. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. 81 p.

Dolores, H; Diestra, A. 2011. Guía Técnica: Manejo integrado del cultivo de caña de azúcar. Oficina Académica de Extensión y Proyección social. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 34 p.

- Duarte, O; González, J. 2019. Guía técnica del cultivo de la caña de azúcar. Proyecto Paquetes Tecnológicos – PPT. San Lorenzo, Paraguay. 44 p.
- Elizalde, M. 2015. Mejoramiento de la rentabilidad con diversificación de subproductos de la caña de azúcar en Chaguarpamba, Loja. Tesis de grado. Universidad Técnica de Machala. Machala, Ecuador. 64 p.
- Figuroa, K; García, M; Mayett, Y; Hernández, F; Figuroa, B. 2015. Factores que explican el rendimiento de caña de azúcar a nivel municipal en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6):1345-1358.
- Flores, C. 2017. Efecto de la supresión del riego en pre-cosecha sobre el contenido de sacarosa y el rendimiento del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el ingenio Valdez, cantón Milagro, provincia del Guayas. Universidad Agraria del Ecuador. Guayas, Ecuador. 94 p.
- Gonzabay, J; Reyes, V; Herrera, G; Deza, C; Rojas, V; Sequera, A. 2020. Análisis de la sostenibilidad de una empresa de caña de azúcar en Ecuador. *Research, Society and Development*, 9(11):1-23.
- Helfgott, S. 2016. El Cultivo de la Caña de Azúcar en la Costa Peruana. Fondo Editorial de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 495 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos – INEC. 2021. Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua - ESPAC 2021: Informe técnico. Quito, Ecuador. 55 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2013. Principales resultados: encuesta nacional de ingresos y gastos ENIGHUR 2011- 2012. INEC . Recuperado el 1 de septiembre de 2023. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec//documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/Encuesta_Nac_Ingresos_Gastos_Hogares_Urb_Rur_ENIGHU/ENIGHU-2011-2012/EnighurPresentacionRP.pdf

- Iñiguez, A; Valle, L; González, M; Ochoa, W. 2018. Análisis de rentabilidad de la producción de caña de azúcar y sus derivados: Caso productores rurales de la parroquia de Malacatos, Loja, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 7(2):65-76.
- Lara, D; Cobos, C; Cardoso, D; Villacis, J. 2018. Productividad del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Ecuador bajo un enfoque econométrico. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 1:1-16 p.
- Larrahondo, J; Villegas, F. 1995. Control y características de la maduración. *Revista CENICAÑA*, 1-18 p.
- Macías, A; Calle, C. 2009. Identificación de impactos ambientales en las labores de cosecha y post cosecha en la caña de azúcar en el cantón La Troncal, provincia del Cañar. Tesina para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 55 p.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. 2016. Boletín situacional caña de azúcar. Sistema de Información de Agricultura Pública. Visitado el 14 de febrero del 2022. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/biblioteca/boletines_situacionales/2016/canadeazucar/boletin_situacional_cana_de_azucar_2016.pdf
- Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. 2017. Boletín situacional caña de azúcar. Sistema de Información de Agricultura Pública. Visitado el 2 de julio del 2022. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/boletin_situacional_cania_azucar_2017.pdf
- Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. 2018. Boletín situacional caña de azúcar. Sistema de Información de Agricultura Pública. Visitado el 2 de julio del 2022. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2018/boletin_situacional_cania_azucar_2018.pdf

Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. 2020. Boletín situacional cultivo de caña de azúcar. Sistema de Información de Agricultura Pública. Visitado el 14 de febrero del 2022. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2020/boletin_situacional_cana_a_zu_car_2020.pdf

Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. 2019. Boletín situacional caña de azúcar. Sistema de Información de Agricultura Pública. Visitado el 14 de febrero del 2022. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2019/boletin_situacional_cana_a_zucar_2019.pdf

Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. 2021. Boletín situacional cultivo de caña de azúcar. Sistema de Información de Agricultura Pública. Visitado el 14 de febrero del 2022. Disponible en: <https://fliphtml5.com/ijia/banu/basic>

Maposita, R; Mora, H. 2018. Aumento de la calidad de la caña de azúcar mediante la aplicación del riego y la fertilización de precisión. Tesis de grado. Universidad Estatal de Milagro. Milagro, Ecuador. 41 p.

Marconi, L; D'Amelio, A. 2009. Medidas de tendencia central. Visitado el 3 de abril del 2022. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/medidas-de-tendencia-central-y-de-liliana-marconi-adriana-damelio-calculo-de,html?page=1>

Martínez, C. 2008. Evaluación de cuatro tiempos de suspensión del riego previo a la cosecha de la caña de azúcar, variedad CB 3822, en el Ingenio Tres Valles, Cantarranas, Honduras. Tesis de grado. Universidad de Zamorano, Honduras. 25 p.

Méndez, J. 2012. Suspensión del riego en caña de azúcar durante la maduración: efecto en el rendimiento y calidad del jugo. Tesis de grado. Colegio de Postgraduados. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Tabasco, México. 73 p.

- Méndez, J. 2022. Efecto del tiempo de agoste en la calidad de caña de azúcar de la empresa Agrotechi S.A.C. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. 58 p.
- Mendoza, J; Aucatoma, B; Salazar, M; Avellaneda, C. 2018. La colección de germoplasma de variedades introducidas y locales de caña de azúcar en Ecuador. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE, Carta informativa N°20. 9 p.
- MIES - Ministerio de Inclusión Económica y Social. 2022. Acuerdo Ministerial Nro. MIES-2022-005. Disponible en: https://www.inclusion.gob.ec/wp-content/uploads/2022/01/mies-2022-005_de_25_de_enero_de_20220166073001643136289.pdf
- Montero, R. 2016. Modelos de regresión lineal múltiple. Documento de Trabajo en Economía Aplicada. Universidad de Granada. España. 61 p.
- Navarrete, N; Naikiat, J; Parrales, M. 2022. Desarrollo local de San Carlos (Ecuador): la caña de azúcar como potencial de emprendimiento. *Revista Espacios*, 43(11): 25-42.
- Nicolalde, D. 2014. Análisis económico de la cadena productiva de la caña de azúcar, bajo un enfoque estructuralista y matriz de análisis de política, periodo 2006–2012. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. 116 p.
- Núñez, J; Ruiz, M; Parra, J; Ortiz, M. 2019. Estudio sobre el impacto socioeconómico del sector agroindustrial de la caña en Colombia. Centro de Investigación Económica y Social. *Fe desarrollo*, 70:120-132.
- Ortiz, A, 2016. La rentabilidad de la producción de caña de azúcar en la parroquia Malacatos, cantón y provincia de Loja y su incidencia en los niveles de pobreza, año 2015. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. 135 p.
- Possú, W. 2016. Incidencia del cultivo de la caña de azúcar en la fertilidad del suelo y su efecto en la producción de alimento de la vereda Agua Azul, municipio de Villa Rica, Cauca. Tesis de grado. Universidad de Manizales. Manizales, Ecuador. 97 p.

- Rico, J. 2019. Denuncian los impactos sociales y ambientales del auge del cultivo de caña de azúcar. Visitado el 1 de mayo del 2022. Disponible en: <https://www.energias-renovables.com/bioenergia/denuncian-los-impactos-sociales-y-ambientales-del-20190605>
- Roca, W. 2016. Caracterización de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en los componentes estructurales agronómicos para la producción bio tecnológica de alimento animal en la fabricación de saccharina rustica como suplemento alimenticio, Tesis de grado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 30 p.
- Rodríguez, L. 2020. Estudio socioeconómico de los productores de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) de la zona agrícola de Milagro, Guayas. Trabajo de grado. Universidad Agraria del Ecuador. Ecuador. 96 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación – SAGARPA. 2015. Ficha técnica del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). SAGARPA. México. 19 p.
- Salgado, S; Castelán, M; Méndez, J; Lagunes, L; Córdova, S; Mendoza, R. 2016. Suspension of irrigation during the maturation phase of sugarcane (*Saccharum* spp.) cultivation. *Agro Productividad*, 3:2-10.
- Salto, J. 2015. Comportamiento agronómico de ocho variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Río Verde, Provincia de Santa Elena. Tesis de grado. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. 57 p.
- Santacruz, L. 2015. Determinación de la eficacia del herbicida Lumax, solo y en mezcla con pendimetalin para el control pre-emergente de malezas en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el ingenio Valdez, cantón Milagro. Tesis de grado. Universidad Agraria del Ecuador. Milagro, Ecuador. 60 p.
- Sarandón, S; Zuluaga, M; Cieza, R; Janjetic, L; Negrete, E. 2006. Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Agroecología*, 1(6):19-28.

- Segura, R. 2021. Estudio socioeconómico de los productores de caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) en el recinto San José del cantón Naranjito, Guayas. Trabajo de grado. Universidad Agraria del Ecuador. 66 p.
- Silva, E. (s,f.). Estrategia de la transferencia de tecnología en Ecuador, caso de estudio: caña de azúcar. Centro de Investigación de la caña de azúcar del Ecuador. 29 p. Visitado el 5 de julio del 2023. Disponible en: <https://ipkey.eu/sites/default/files/ipkey-docs/2019/CINCAE.pdf>
- Silva, E; Caicedo, W; Castillo, R; Martínez, F; Romero, H; Mendoza, J; Salazar, M. 2013. Variedad EC-02: Plegable divulgativo. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE. 2 p.
- Silva, E; Castillo, R; Martínez, F; Caicedo, W; Romero, H; Mendoza, J; Garcés, F; Salazar, M; Aucatoma, B; Madrid, C; León, T; Fiallos, F. 2011. EC-03 (ECSP2000-179) y EC-04 (ECSP2000-215), nuevas variedades de caña de azúcar para la cuenca baja del río Guayas, Boletín informativo CINCAE. El Triunfo, Ecuador. 20 p.
- Silva, E; Martínez, F; Castillo, R; Caicedo, W; Mendoza, J; Garcés, F; Salazar, M; Aucatoma, B; Madrid, C; León, T; Fiallos, F; Romero, H. 2013. Información técnica de las nuevas variedades de caña de azúcar EC-05 (ECSP01-190) y EC-06 (ECSP01-588). Boletín informativo CINCAE. El Triunfo, Ecuador. 29 p.
- Silva, E; Martínez, F; Madrid, C; León, T; Castillo, R; Mendoza, J; Salazar, M; Aucatoma, B; Garcés, F; Valdez, M; Fiallos, F; Suarez, M. 2020. EC-09: Nueva variedad de caña de azúcar para la costa ecuatoriana. Boletín informativo CINCAE. 10 p.
- Silva, E; Martínez, F; Madrid, C; León, T; Castillo, R; Mendoza, J; Garcés, F; Salazar, M; Aucatoma, B; Fiallos, B; Suárez, M. 2016. EC-07 y EC-08 nuevas variedades mejoradas de caña de azúcar. Boletín informativo CINCAE. 12 p.
- Soca, R; Rojas, J; Willems, L; Ocola, L; Fernández, R; Pérez, J. 2017. Identificación de tierras degradadas por la salinidad del suelo en cultivos de caña de azúcar mediante imágenes de satélite. México. *Revista de Investigación de Física*, 19(1):1-9.

- SIPA - Sistema de Información Pública Agropecuaria. 2023. Boletín situacional de caña de azúcar 2022. Quito: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Superintendencia de Control del Poder de Mercado. 2021. Estudio de mercado sector del azúcar. Quito, Ecuador. Informe Anual No 3. 115 p.
- Tenelanda, C. 2017. Determinación de los coeficientes de cultivo “kc” para el riego de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en dos sistemas de siembra. Tesis de grado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 83 p.
- Valle, S; Yaguache, B; Caicedo, W; Toscano, J; Yucailla, D; Abril, R. 2021. Caracterización socioeconómica y productiva de los cañicultores de la provincia Pastaza, Ecuador. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(2):1-15.
- Vásquez, J. 2014. Efecto del clima en la producción de caña y azúcar en Central Progreso. Informe técnico. México. 9 p.
- Vega, A. 2017. Impacto del estrés hídrico en la germinación de cinco variedades de caña de azúcar en Ecuador. *Revista El Misionero del Agro*, 13(4):70-77.
- Vega, A; Martínez, T. 2020. La quema de cañaverales y su influencia en la composición de arvenses, en zonas de la costa ecuatoriana. *Revista Universidad, Ciencia y Tecnología*. 1(1):74-80.
- Villegas, F; Larrahondo, J. 1995. Control y características de maduración. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. 18 p.
- Vinuesa, P. 2016. Correlación: teoría y práctica. Centro de Ciencias Genómicas. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. Visitado el 30 de agosto del 2022. Disponible: https://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema8_correlacion.html
- Warde, W; Scheaffer, R; Mendenhall, W; Lyman, O. 1987. *Elementary Survey Sampling Technometrics*, 29(2): 205-248.

Zúñiga, P. 2016. Estudio de los rangos óptimos de disponibilidad en N, P, K para las nuevas variedades de caña de azúcar ECU-01 y EC-02 en suelos de la cuenca baja del Río Guayas. Tesis de grado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 56 p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Encuesta



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Programa de Doctorado en Agricultura Sustentable

1. ¿Tiene usted cultivo de caña de azúcar? Sí No
2. Sexo Hombre Mujer
3. Edad (años)
() 0-25
() 26-40
() 41-60
() 60 en adelante
4. ¿Cantidad de miembros familiares que viven con usted
()= 0-2
()= 3-5
()= 6 en adelante
5. Tiene hijos Si No
¿cuántos?
()= 0-2
()= 3-5
()= 6 en adelante
6. ¿Desempeña alguna otra actividad por la que obtenga otros ingresos?
Sí No
Si fuera si Agricultura Otros
7. ¿Vivienda propia Si No
8. Tipo de vivienda:
Madera Ladrillo o bloque Mixta Otro
9. ¿Pertenece a alguna asociación agrícola o similar? Sí No

10. ¿Cuál es su ingreso mensual promedio en dólares?

- () ≥ de 500
- () 400-500
- () 300-400
- () 200-300
- () - de 200

11. ¿Destino de ingresos económicos?

Alimentación Salud Educación Vestimenta Otros

12. ¿Cuál es su nivel de estudios?

- No tiene estudios
- Estudios primarios
- Estudios secundarios
- Universitarios

13. Recibe capacitación en producción agrícola:

Si No

De quien o quienes: Ministerio Agricultura Ingenios
Empresa privada Productores

14. ¿Cuáles son los temas de capacitación agrícola:

Control de plagas y enfermedades Fertilización
Manejo de malezas Riego Producción de abonos
Comercial Otros

15. ¿Cuáles son los temas de producción agrícola en que le gustaría ser capacitado?

Fertilización Control de plagas y enfermedades Producción de abonos
Manejo de malezas Riego Comercialización
Otros _____

16. ¿Qué atención médica posee?

- Sin centro médico
- Afiliado al seguro campesino
- Afiliado al IEES
- Seguro particular
- Clínica privada

17. Tipo de servicio básico disponible

- Ninguno
- Agua potable
- Agua de pozo
- Luz eléctrica
- Teléfono

18. Nivel de complacencia

- Está decepcionado con la vida que lleva, desea dejar la agricultura por otro negocio
- Poco satisfecho con esta forma de vida, anhela vivir en la ciudad y dedicarse a otra actividad
- No está del todo satisfecho, es lo único que sabe hacer
- Está complacido, pero antes le iba mucho mejor
- Está muy complacido con lo que hace, no haría otra actividad

19. ¿Qué piensa usted de la Ecología?

Piensa en la ecología en una perspectiva amplia, yendo más allá de su explotación y conociendo los fundamentos	
Adquiere conocimientos de ecología a través de su práctica diaria. Su conocimiento es reducido en la finca por el no uso de agroquímicos y prácticas de conservación	
Tiene sólo una visión parcial de la ecología. Tiene la sensación de que ciertas prácticas pueden ser dañinas para el medio ambiente	
No presenta conocimientos ecológicos ni conciencia de las consecuencias que pueden causar algunas prácticas, pero utiliza prácticas de bajos insumos	
Sin ninguna conciencia ecológica, su experiencia y prácticas son agresora al medio por causa de este desconocimiento	

20. ¿Cómo es su relación con otros miembros de la comunidad?

- Muy alta
- Alta
- Media
- Baja
- Nula

II. DATOS DE LA EXPLOTACIÓN

21. ¿En qué parroquia o localidad está situado su cultivo?

Parroquia: _____ (Localidad): _____

22. ¿Cuántas hectáreas tiene su cultivo?

- () ≥ 50 ha
- () 31-40 ha
- () 21-30 ha
- () 10-20 ha
- () ≤ 10 ha

	Caña de Azúcar
Propias (ha)	
Alquiladas	
Total (ha)	

23. ¿Cuánto se paga normalmente en su zona por el arrendamiento de tierras?

- Renta de tierras por año: _____\$/ha y año,

- \geq \$100
- \$ 101-\$200
- \$ 201-\$300
- \$ 301-\$400
- \$ 401-\$500

24. Mano de obra: ¿Qué porcentaje de su tiempo de trabajo dedica usted a la agricultura?

- \geq 80 %
- 60-80%
- 40-59%
- 20-39%
- \leq 20 %

25. Cuántas personas usted emplea de manera fija para las tareas del cultivo de caña de azúcar por ha,

- = 0-2
- = 3-5
- = 6-8
- = 9 en adelante

26. ¿Cuántas personas usted emplea de manera esporádica para las tareas del cultivo de caña de azúcar por ha?

- = 0-2
- = 3-5
- = 6-8
- = 9 en adelante

27. ¿Cuánto percibe mensualmente un trabajador? \$

- \geq de 425
- 300-425
- 200-300
- 100-200
- de 100

28. ¿Usted mecaniza las tareas del cultivo?

100% 75% 50% 25%

29. ¿Usted cuenta con un sistema de riego propio?

Si No

30. ¿Qué tipo de riego tiene?

Inundación Goteo Aspersión Pivote Otros
 No riego

31. ¿Usted realiza aplicaciones de agroquímicos a su cultivo? Si No

32. ¿Si la respuesta anterior fue positiva, indicar el número de aplicaciones que realiza en el siguiente cuadro:

Fertilizante	Herbicidas	Insecticidas	Fungicidas	Otro	Total
() ≤ 3	() ≤ 3	() ≤ 3	() ≤ 3	() ≤ 3	
() 4-5	() 4-5	() 4-5	() 4-5	() 4-5	
() 6-7	() 6-7	() 6-7	() 6-7	() 6-7	
() 8-9	() 8-9	() 8-9	() 8-9	() 8-9	
() ≥ 10	() ≥ 10	() ≥ 10	() ≥ 10	() ≥ 10	

33. ¿Qué tipo de control usted realiza?

Biológico ()
Mecánico ()
Químico ()
No aplica ()

34. ¿Qué tipo de malezas predomina en su predio?

Hoja ancha () Hoja angosta o gramínea () Ciperáceas ()

35. Producción de caña toneladas/año – promedio:

2019	2020	2021
() ≥ 100 toneladas	() ≥ 100 toneladas	() ≥ 100 toneladas
() 91-99 toneladas	() 91-99 toneladas	() 91-99 toneladas
() 81-90 toneladas	() 81-90 toneladas	() 81-90 toneladas
() 71-80 toneladas	() 71-80 toneladas	() 71-80 toneladas
() ≤ 70 toneladas	() ≤ 70 toneladas	() ≤ 70 toneladas

36. Precio de venta:

2019	2020	2021

37. ¿Cuáles son los medios con que cuenta para comercializar su producción?

Canal	Empresa azucarera	Procesos de panela, alcohol

38. ¿Tiene usted acceso a crédito? Sí No

39. Seleccione las principales fuentes de financiamiento para sus actividades agrícolas

Financiamiento	Banco privado	Ban Ecuador	Cooperativa de ahorro y crédito	Empresa proveedora de insumo	Prestamista (chulquero)	Fomentador	Total

III. CULTIVOS**40. ¿Seleccione los cultivos que mantiene en su propiedad aparte de la caña de azúcar?**

Cultivo	Banano	Maíz	Cacao	Camaronera	Plátano
Superficie (ha)	() ≥ 50	() ≥ 50	() ≥ 50	() ≥ 50	() ≥ 50
	() 31-40	() 31-40	() 31-40	() 31-40	() 31-40
	() 21-30	() 21-30	() 21-30	() 21-30	() 21-30
	() 10-20	() 10-20	() 10-20	() 10-20	() 10-20
	() ≤ 10	() ≤ 10	() ≤ 10	() ≤ 10	() ≤ 10

41. Alguno de los cultivos indicados en la sección anterior, son utilizados para el autoconsumo, ¿Cuál es la superficie?

Cultivo	Banano	Maíz	Cacao	Caña de azúcar	Camaronera	Plátano
Superficie (ha)	() ≥ 50	() ≥ 50	() ≥ 50	() ≥ 50	() ≥ 50	() ≥ 50
	() 31-40	() 31-40	() 31-40	() 31-40	() 31-40	() 31-40
	() 21-30	() 21-30	() 21-30	() 21-30	() 21-30	() 21-30
	() 10-20	() 10-20	() 10-20	() 10-20	() 10-20	() 10-20
	() ≤ 10	() ≤ 10	() ≤ 10	() ≤ 10	() ≤ 10	() ≤ 10

42. De los cultivos indicados, ¿Cuáles son comercializados?

Cultivo	Banano	Maíz	Cacao	Caña de azúcar	Camaronera	Plátano
Superficie (ha)	() ≥ 50	() ≥ 50	() ≥ 50	() ≥ 50	() ≥ 50	() ≥ 50
	() 31-40	() 31-40	() 31-40	() 31-40	() 31-40	() 31-40
	() 21-30	() 21-30	() 21-30	() 21-30	() 21-30	() 21-30
	() 10-20	() 10-20	() 10-20	() 10-20	() 10-20	() 10-20
	() ≤ 10	() ≤ 10	() ≤ 10	() ≤ 10	() ≤ 10	() ≤ 10

43. ¿Maneja algún tipo de cobertura vegetal?

Sí

No

(En caso de respuesta positiva, indicar el %)

- () 100 por ciento
- () 75 a 99 por ciento
- () 50 a 75 por ciento
- () 25 - 50 por ciento
- () < 25 por ciento de cobertura

44. ¿Cada cuánto tiempo renueva su cultivo de caña de azúcar?

3 años 4 años 5 años O más

45. ¿Hace rotación del cultivo de caña de azúcar?

Si

No

46. ¿Cómo es la secuencia de la rotación?

No realiza rotaciones	
Rota cada 3 a 5 años	
Rota cada 6 ó 8 años	
Rota cada 9 o >	
Deja descansar el suelo después de cada rotación	
Incorpora materia orgánica al suelo	

47. ¿Cuál es la incidencia de plagas (plagas, enfermedades y malezas)?

Grandes infestaciones > 51% plagas, enfermedades en todo el cultivo y presencia de especies de arvenses dominantes,	
Afectaciones 25 - 50 % de los cultivos, con síntomas de leves a severos	
Afectaciones 25 - 50 % de los cultivos, con síntomas de leves y no hay arvenses dominantes	
Afectaciones leves y autorregulables por el sistema	
No se observan afectaciones por plagas, enfermedades y arvenses	

48. ¿Cómo es la diversificación de sus cultivos?

Establecimiento totalmente diversificado, con asociaciones de cultivos y con vegetación natural	
Alta diversificación de cultivos, con asociación media entre ellos	
Diversificación media, con muy bajo nivel de asociación entre ellos	
Poca diversificación de cultivos, sin asociaciones	
Monocultivo,	

49. Se practica quema del cultivo en la zafra,

Si

No