

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL**



Informe final de la Pasantía de práctica profesional sobre:

**“Producción *in vitro* de semilla de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y manejo en la
Compañía Azucarera Salvadoreña Central Izalco (Grupo CASSA) en Sonsonate”.**

POR

EDWIN JOSÉ ESCOBAR ORELLANA

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2025

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL**



Informe final de la Pasantía de práctica profesional sobre:

“Producción *in vitro* de semilla de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y manejo en la Compañía Azucarera Salvadoreña Central Izalco (Grupo CASSA) en Sonsonate”.

POR

EDWIN JOSÉ ESCOBAR ORELLANA

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. M. SC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO

ING. MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

SECRETARIO

ING. M. SC. EDGAR GEOVANY REYES MELARA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL

ING. M. SC. EFRAÍN ANTONIO RODRÍGUEZ URRUTIA

ASESOR INTERNO

ING. M. SC. EFRAÍN ANTONIO RODRÍGUEZ URRUTIA

ASESOR EXTERNO

ING. MARTA BEATRIZ SEGURA ESCOBAR

COORDINADORA GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN DEL DEPARTAMENTO

LICDA. M. SC. CRUZ GILMA ORTIZ DE ALARCÓN

RESUMEN

La pasantía de práctica profesional se desarrolló en la Compañía Azucarera Salvadoreña Central Izalco (Grupo CASSA), Sonsonate, entre diciembre de 2024 y junio de 2025. El objetivo fue la producción in vitro de semilla de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y el manejo agronómico del cultivo, combinando actividades de laboratorio, campo y análisis técnico.

La metodología de laboratorio incluyó técnicas de cultivo de tejidos para la multiplicación y enraizamiento de las variedades de caña de azúcar CG 02-163 y CP 73-2086, preparación de medios nutritivos, control de calidad y monitoreo de plántulas. En campo se supervisaron sistemas de riego por goteo, reparación y calibración de bombas y motores, transporte de tuberías para riego, medición de caudal de agua para riego, y diseño de lotes agrícolas para producción de caña de azúcar mediante levantamientos topográficos con dron y GPS RTK.

Se realizaron muestreos fitosanitarios en semilleros básicos y comerciales, evaluando enfermedades como roya café, roya anaranjada (*Puccinia kuehnii*) y virus del mosaico de la caña de azúcar (*Sugarcane mosaic virus*, SCMV). Asimismo, se identificaron daños causados por plagas como barrenadores del tallo (*Diatraea spp.*) y termitas (*Isoptera spp.*), las cuales afectan los tallos y comprometen el desarrollo del cultivo. También se supervisaron procesos de siembra y cosecha mecanizada de caña de azúcar, aplicando tecnologías de agricultura de precisión como pilotos automáticos y sistemas NTRIP para mejorar la eficiencia operativa y la trazabilidad agronómica.

El desarrollo de la pasantía permitió consolidar competencias en biotecnología vegetal, diagnóstico fitosanitario, gestión hídrica, logística agrícola y herramientas de precisión. La experiencia adquirida refuerza una visión multidisciplinaria orientada a la sostenibilidad, eficiencia operativa y mejora genética del cultivo de caña de azúcar.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mi madre Mirna Margarita Orellana Mena.

A mi padre José Roberto Escobar García.

A mi hermana Patricia Lisseth Escobar Orellana.

A mi novia Mirna Margarita López González.

A mi tío Herberth Mauricio Orellana Mena.

Agradezco a la Compañía Azucarera Salvadoreña Central Izalco (Grupo CASSA), por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de realizar esta pasantía profesional en un entorno técnico de alto nivel.

Mi gratitud al Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, tutor interno, por su orientación académica y seguimiento constante, y a la Ing. Marta Beatriz Segura Escobar, asesora externa, por su acompañamiento técnico, paciencia y compromiso con mi formación.

Reconozco el valioso apoyo del equipo del laboratorio de cultivo de tejidos, así como de los ingenieros responsables de las áreas de riego, cosecha y agricultura de precisión, quienes compartieron sus conocimientos y experiencias con generosidad.

Agradezco a la Universidad de El Salvador, especialmente a la Facultad de Ciencias Agronómicas y al Departamento de Desarrollo Rural, por fomentar espacios de aprendizaje práctico que fortalecen la formación profesional y el vínculo con el sector agroindustrial.

EDWIN JOSÉ ESCOBAR ORELLANA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, Mirna Margarita Orellana Mena, luz y guía en mi vida, cuyo amor inquebrantable y apoyo incondicional me sostuvieron en cada paso de este camino. Gracias a su fortaleza y a su fe en mí aprendí a no rendirme, a creer en mis sueños y a seguir adelante aun en los momentos más difíciles. Sin ella, nada de lo que hoy celebro habría sido posible.

A mi padre, José Roberto Escobar García, cuyo esfuerzo y sacrificio han sido el cimiento sobre el cual camino. Sus consejos, aun a la distancia, me dio la fuerza para seguir cuando sentía que no podía más. Este logro también es suyo, porque sin su ejemplo y amor nada de esto habría sido posible.

A mi hermana, Patricia Lisseth Escobar Orellana, por estar siempre pendiente de mí, acompañándome con su cariño y apoyo incondicional. Su presencia constante fue un refugio y una fuente de fuerza que me impulsó a continuar con esperanza y determinación.

A mi novia, Mirna Margarita López González, que siempre creyó en mí y en mis capacidades, regalándome la confianza que a veces me faltaba. Gracias a su amor comprendí que soy capaz de alcanzar todo lo que me proponga, siempre que camine con fe en Dios.

Dedico este trabajo a la memoria de mis seres queridos que partieron antes de ver este sueño cumplido, pero cuya presencia sigue viva en cada paso que doy. A mi abuela, Blanca Elva Orellana de Mena, que siempre deseó verme culminar mis estudios; donde sea que se encuentre, espero que su corazón se llene de orgullo al saber que su amor y sus palabras me guiaron hasta aquí. Su fe en mí fue luz en los momentos más inciertos.

A mi abuelo, Ezequiel Mena Contreras, por enseñarme que la agricultura no es solo trabajo, sino una forma de amar la tierra, de respetar sus ciclos y de sembrar con esperanza. Su dedicación silenciosa y su ejemplo noble me mostraron el valor de la constancia y el compromiso.

A mi tío Herberth Mauricio Orellana Mena, por abrirme las puertas del Ingenio Central Izalco y confiar en mi capacidad. Su gesto no solo me dio una oportunidad profesional, sino también el impulso necesario para crecer y aprender en un entorno que hoy forma parte esencial de mi formación.

EDWIN JOSÉ ESCOBAR ORELLANA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
3. INFORMACIÓN DE LA UNIDAD PRODUCTIVA	3
3.1. Datos generales	3
3.2. Antecedentes de la empresa	3
3.3. Recursos de la empresa	3
4. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS.....	4
5. MARCO TEÓRICO	5
5.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	5
5.2. Importancia del cultivo de caña de azúcar en El Salvador	6
5.2.1. Relevancia económica, social y ambiental del cultivo.....	6
5.2.2. Aporte al PIB y generación de empleo.	7
5.2.3. Exportaciones y comercio exterior	8
5.3. Rol del Grupo CASSA en la cadena agroindustrial.	9
5.3.1. Modelo agroindustrial rentable y sostenible.....	9
5.3.2. Pilar de desarrollo económico y social	9
5.3.3. Responsabilidad Social Empresarial (RSE) con enfoque territorial.....	9
5.3.4. Alianzas estratégicas para el desarrollo.....	10
5.3.5. Adaptación al cambio climático y seguridad hídrica	10
5.4. Fundamentos del cultivo in vitro de caña de azúcar	10
5.4.1. Principios del cultivo de tejidos vegetales.....	10
5.4.2. Ventajas del cultivo in vitro	11
5.4.3. Aplicaciones en la mejora de semilla y conservación de germoplasma.....	11
5.5. Manejo agronómico integral en sistemas de producción de caña de azúcar	12
5.5.1. Siembra y cosecha semi mecanizada.....	12
5.5.2. Evaluación de calidad varietal y control fitosanitario	12
5.5.3. Supervisión de semilleros básicos y comerciales	13
6. METODOLOGÍA.....	13
6.1. Descripción del área de estudio.....	13

6.2. Enfoque metodológico	13
6.3. Metodología de laboratorio	14
6.3.1. Vivero de aclimatación	17
6.4. Metodología de campo	18
6.4.1. Área de campo y producción agronómica	18
6.5. Metodología administrativa	20
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
7.1. Competencias técnicas adquiridas	20
7.2. Resultados en laboratorio: multiplicación y enraizamiento	22
7.3. Aclimatación de plántulas y manejo en vivero	23
7.4. Establecimiento en campo y manejo agronómico	24
7.5. Gestión documental y redacción técnica	25
7.6. Discusión general de los resultados	26
8. CONCLUSIONES	27
9. RECOMENDACIONES	28
10. BIBLIOGRAFÍA	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Certificaciones internacionales del GRUPO CASSA.....	4
Figura 2. Países a los que GRUPO CASSA exporta melaza y azúcar.....	8
Figura 3. Elaboración de medio de cultivo.	16
Figura 4. Multiplicación de plantas de caña de azúcar de la variedad CG02-163.	16
Figura 5. Riego de plantas en invernadero de aclimatación.....	18
Figura 6. Plantas de la variedad CP72-2086 listas para trasplante a campo.	19
Figura 7. Evaluación de variables de la variedad CP72-2086.....	19
Figura 8. Supervisión de riego por aspersión en hacienda El Diamante.	20
Figura 9. Plantula de la variedad CP72-2086 en etapa demultiplicación.....	21
Figura 10. Lote de plántulas de la variedad CG02-163 trasladadas a fase de raíz.....	21
Figura 11. limpieza y separación de plántulas de la variedad CP72-2086.....	22
Figura 12. Plántulas de la variedad CG02-163 en preparación para traslado hacia vivero de aclimatación.....	22
Figura 13. Brotes de raíz en la variedad CG02-163.....	23
Figura 14. Plantas de la variedad CG02-163 en invernadero de aclimatación.	23
Figura 15. Riego en vivero de aclimatación.	24
Figura 16. Monitoreo en semillero básico en hacienda San Antonio.....	24
Figura 17. Mulch en hacienda Miravalle.....	25
Figura 18. Bitácora de laboratorio.....	25

1. INTRODUCCIÓN

La realización de la pasantía de práctica profesional en la Compañía Azucarera Salvadoreña Central Izalco (Grupo CASSA), constituyó una experiencia formativa clave para la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Agronómica. Esta empresa, reconocida por su liderazgo en la producción de azúcar por su compromiso con la innovación tecnológica y la sostenibilidad, ofreció un entorno propicio para el desarrollo de habilidades técnicas, operativas y analíticas en el cultivo de caña de azúcar.

La pasantía se centró en la producción in vitro de semilla de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y su manejo agronómico en campo, abordando la problemática de escasez de mano de obra en labores de siembra. Las actividades realizadas incluyeron la selección y preparación de meristemas apicales, elaboración de medios nutritivos, multiplicación y enraizamiento de plántulas, aclimatación en vivero, supervisión de siembra en cooperativas, evaluación de variables agronómicas como altura y grosor del tallo, y monitoreo de sistemas de riego y control de plagas. Además, se participó en la planificación logística, documentación técnica y elaboración de informes mensuales, fortaleciendo competencias en gestión administrativa.

Entre los principales resultados obtenidos destacan la producción eficiente de plántulas libres de patógenos, mejora en la uniformidad genética de los cultivos, optimización del uso de recursos hídricos mediante supervisión técnica, y la identificación de prácticas sostenibles aplicables en campo. Estas acciones contribuyeron a mejorar la eficiencia operativa del grupo CASSA y a validar el potencial de la micropropagación como alternativa viable frente a los métodos tradicionales de siembra.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Producir *in vitro* semilla de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y manejo en la Compañía Azucarera Salvadoreña Central Izalco (grupo CASSA) en Sonsonate.

2.2. Objetivos específicos

- Desarrollar habilidades técnicas en la multiplicación *in vitro* de plantas de caña de azúcar.
- Implementar técnicas de control de calidad en la producción de semilla de caña azúcar.
- Evaluar en campo las plantas de caña de azúcar producidas *in vitro* en el laboratorio.

3. INFORMACIÓN DE LA UNIDAD PRODUCTIVA

3.1. Datos generales

El Grupo CASSA es una empresa agroindustrial ubicada en Sonsonate, El Salvador, donde opera el Ingenio Central Izalco. También cuenta con el Ingenio Chaparrastique en San Miguel. La empresa se dedica a la producción de azúcar, melaza y energía renovable a partir de la caña de azúcar (Grupo CASSA, 2024).

3.2. Antecedentes de la empresa

Fundada en 1964, el Grupo CASSA ha evolucionado como líder en el sector azucarero salvadoreño. Su misión es transformar la caña en soluciones sostenibles, y su visión es convertirse en un referente mundial en sostenibilidad, conocimiento y tecnología agroindustrial. Exporta productos a más de 20 países y aporta aproximadamente 2.6% al Producto Interno Bruto (PIB) nacional (Grupo CASSA, 2023).

3.3. Recursos de la empresa

El Grupo CASSA cuenta con:

- **Recursos naturales:** Más de 47,000 hectáreas de cultivo de caña de azúcar, con prácticas sostenibles y sistemas de riego por goteo (Grupo CASSA, 2023).
- **Instalaciones y equipos:** Laboratorios acreditados, domos de almacenamiento, estaciones de azúcares especiales, drones con fotogrametría, GPS RTK, maquinaria de cosecha mecanizada (Grupo CASSA, 2024).
- **Recursos humanos:** Más de 14,000 empleos directos en época de zafra, incluyendo ingenieros agrónomos, químicos, técnicos en biotecnología y personal administrativo (Great Place to Work CARCA, 2024).

3.4. Actividades de la empresa

Las actividades productivas incluyen el cultivo, cosecha y procesamiento de caña de azúcar. En el área técnica se aplican tecnologías de agricultura de precisión, sistemas automatizados de riego y control de calidad. Administrativamente la empresa opera bajo

estándares internacionales como FSSC 22000 e ISO 22000:2018. Comercialmente abastece el mercado local y exporta azúcar y melaza a más de 20 países (Grupo CASSA, 2023).


						
CERTIFICACIÓN FSSC 22000	CERTIFICACIÓN ISO 9001:2015	CERTIFICACIÓN KOSHER	CERTIFICACIÓN HALAL	ACREDITACIÓN NTS ISO/IEC 17025:2017	CERTIFICACIÓN BON SUCRO	CERTIFICACIÓN FAIRTRADE
VERSIÓN 5.1 ISO 22000:2018 ISO/TS 22002-1:2009 Sistema Gestión de Inocuidad Alimentaria	Sistema Gestión de la Calidad	Estándar Mercado Judío	Estándar Mercado Musulmán	Acreditación para competencia de laboratorios de ensayo.	Estándar de Buenas Prácticas de Sostenibilidad.	Comercio Justo
ALCANCE Fabricación, almacenamiento y despacho de azúcar crudo envasado, blanco sulfitado, blanco directo y azúcar refino.	ALCANCE Fabricación, almacenamiento y despacho de azúcar crudo, blanco sulfitado blanco directo y azúcar refino, así como la cogeneración y venta de energía.	ALCANCE Azúcar crudo, blanco sulfitado, blanco directo y azúcar refino.	ALCANCE Azúcar crudo y azúcar refino.	ALCANCE Laboratorio de Ensayo acreditado por el OSA con registro N° LEA-12.17 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv .	ALCANCE Azúcar crudo, blanco sulfitado, blanco directo, azúcar refino y melaza.	ALCANCE Azúcar crudo, blanco sulfitado, blanco directo, azúcar refino y melaza.
EMISOR SGS United Kingdom Ltd.	EMISOR SGS United Kingdom Ltd	EMISOR Rabino Hersh Spalter, Congregación Beit Menachem Chabad	EMISOR Iglesia Islámica de El Salvador.	EMISOR Organismo Salvadoreño de Acreditación, OSA	EMISOR SGS Brasil Ltda	EMISOR FLO-CERT

Figura 1. Certificaciones internacionales del GRUPO CASSA.

4. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS

En El Salvador, el sector agrícola enfrenta una creciente escasez de mano de obra, especialmente en cultivos que requieren labores intensivas como la caña de azúcar. Esta limitación se vuelve crítica en actividades como el corte de semilla, seguimiento de cañales y el manejo de lotes destinados a la propagación vegetativa. La falta de personal disponible y capacitado obliga a priorizar el uso eficiente de cada jornada laboral, lo cual exige una revisión de los métodos tradicionales de obtención de semilla.

Actualmente, gran parte de la semilla de caña de azúcar se obtiene mediante esquejes de plantas ya establecidas en campo; sin embargo, esta práctica presenta múltiples riesgos agronómicos. El principal problema es la falta de garantía en la pureza varietal del material vegetal, lo que puede generar cultivos desuniformes y con bajo potencial productivo. Además, al no contar con un control fitosanitario riguroso, existe una alta probabilidad de que la semilla esté infectada por enfermedades como hongos, virus o bacterias. Estas condiciones afectan directamente el rendimiento, la sanidad y la rentabilidad del cultivo. Destinar mano de obra escasa a cañales que no ofrecen garantías de calidad genética ni fitosanitaria representa una inversión ineficiente. El esfuerzo dedicado al corte, seguimiento y evaluación de estos lotes puede resultar en una pérdida de tiempo y recursos, especialmente si el resultado final es una cosecha de bajo rendimiento. Esta

situación no solo compromete la productividad, sino que también limita la capacidad de respuesta del sector ante los desafíos económicos y climáticos actuales.

Frente a esta problemática, la producción de semilla in vitro se presenta como una alternativa estratégica. A través del cultivo de tejidos vegetales es posible obtener plántulas genéticamente uniformes, libres de patógenos y con alto potencial de desarrollo. Aunque este proceso también requiere mano de obra especializada para el manejo de semilleros básicos, preparación de medios nutritivos y supervisión de plántulas, cada jornada invertida en el laboratorio se traduce en resultados agronómicos superiores.

La semilla producida in vitro garantiza una mayor eficiencia en el uso de recursos humanos. En lugar de destinar personal a cañales de baja calidad, se enfoca el esfuerzo en procesos controlados que aseguran la obtención de semilla de alto valor. Esto permite establecer lotes comerciales con mejores rendimientos, mayor resistencia a enfermedades y una reducción significativa en los costos de manejo. Se maximiza el aprovechamiento de la mano de obra disponible, transformando una limitación estructural en una oportunidad de innovación y mejora continua.

Ante la escasez de mano de obra agrícola en El Salvador, es fundamental reorientar los esfuerzos hacia métodos de producción que garanticen calidad, eficiencia y sostenibilidad. La producción in vitro de semilla de caña de azúcar responde a esta necesidad y fortalece la competitividad del sector cañero, asegurando una base sólida para el desarrollo agronómico del país.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

El Grupo CASSA ha adoptado los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como parte de su estrategia de responsabilidad social empresarial, enfocándose especialmente en aquellos que impactan directamente en sus comunidades y procesos productivos. Entre los ODS priorizados se encuentran el ODS 3 Salud y Bienestar, el ODS 4 Educación de Calidad, el ODS 5 Igualdad de Género y el ODS 6 Agua Limpia y Saneamiento, los cuales se integran en sus programas internos y externos (Grupo CASSA, 2023).

En el marco del ODS 3, la empresa ha implementado acciones orientadas a mejorar la salud ocupacional, como campañas de prevención, controles médicos periódicos y adecuación de espacios laborales. Estas medidas buscan garantizar el bienestar físico y mental de sus colaboradores, así como fortalecer la cultura organizacional basada en el respeto y la seguridad (Grupo CASSA, 2023).

Respecto al ODS 4, Grupo CASSA desarrolla iniciativas educativas como el programa “Aliados a la Comunidad”, que ofrece capacitaciones técnicas, apoyo escolar y formación en valores. Además, el proyecto “Agua 10” ha beneficiado a más de 150 centros escolares con acceso a agua potable, lo que contribuye a mejorar las condiciones de aprendizaje y salud en zonas rurales (Grupo CASSA, 2023).

Finalmente, en relación con el ODS 5 y el ODS 6, la empresa promueve la equidad de género mediante políticas inclusivas y oportunidades laborales para mujeres en el sector agroindustrial. Paralelamente, su gestión hídrica responsable incluye el uso eficiente del agua en procesos industriales, la protección de fuentes naturales y el acceso comunitario al recurso, alineándose con estándares ambientales y sociales (Grupo CASSA, 2023).

5.2. Importancia del cultivo de caña de azúcar en El Salvador

5.2.1. Relevancia económica, social y ambiental del cultivo.

El cultivo de caña de azúcar representa una de las actividades agroindustriales más importantes en El Salvador, tanto por su impacto económico como por sus implicaciones sociales y ambientales. Desde el punto de vista económico, la agroindustria azucarera genera miles de empleos directos e indirectos, especialmente durante la zafra, y aporta de forma significativa al Producto Interno Bruto (PIB) nacional. Además, el país exporta azúcar y melaza a más de 20 destinos internacionales, lo que convierte al sector en un pilar estratégico para el comercio exterior y la estabilidad económica (Mira, 2019).

Socialmente, la producción de caña de azúcar está vinculada al desarrollo rural, ya que muchas comunidades dependen de esta actividad para su sustento; sin embargo, también se han documentado desafíos relacionados con las condiciones laborales, el acceso a servicios básicos y la vulnerabilidad de los trabajadores agrícolas. La necesidad de mejorar

la calidad de vida en las zonas cañeras ha impulsado iniciativas de responsabilidad social empresarial y programas de desarrollo comunitario por parte de los ingenios (Mira, 2019). En el ámbito ambiental, el cultivo de caña de azúcar ha sido objeto de debate por su impacto sobre los recursos naturales. El uso intensivo del suelo, el consumo de agua, la quema de cañales y el manejo de residuos industriales son factores que requieren atención técnica y regulatoria. En respuesta, algunas empresas han adoptado prácticas sostenibles como la cosecha en verde, el tratamiento de aguas residuales y la implementación de sistemas de riego tecnificados. Estas medidas buscan reducir la huella ecológica del cultivo y promover una producción más responsable (Mira, 2019).

5.2.2. Aporte al PIB y generación de empleo.

La caña de azúcar es uno de los cultivos más relevantes dentro del sector agroindustrial salvadoreño, con una incidencia directa en el crecimiento económico, la generación de empleo rural y el comercio exterior. Su importancia se refleja en múltiples indicadores macroeconómicos que posicionan a la agroindustria azucarera como un pilar estratégico para el país.

Según Fundazúcar (2024), la agroindustria azucarera aporta aproximadamente el 2.6 % del PIB nacional, lo que la convierte en uno de los sectores agrícolas más dinámicos. Además, representa el 2.5% de la inversión privada y el 2.6% de los impuestos percibidos por el gobierno, lo que evidencia su capacidad de generar ingresos fiscales y atraer capital productivo.

El Ministerio de Agricultura y Ganadería -MAG- de El Salvador (2021), también destaca que el cultivo de caña de azúcar mantiene una participación constante en el PIB agrícola, siendo uno de los pocos rubros que ha sostenido su productividad a pesar de los desafíos climáticos y sociales que afectan al sector agropecuario.

Durante la temporada de zafra, la industria azucarera genera más de 50,000 empleos directos e indirectos, incluyendo labores de campo, transporte, procesamiento industrial y servicios conexos. Esta cifra representa una fuente vital de ingresos para miles de familias rurales, especialmente en los departamentos de Sonsonate, La Libertad y Usulután, donde se concentran los principales ingenios y áreas de cultivo (Mira, 2019).

Además, el sector ha promovido la capacitación técnica de los trabajadores agrícolas, la formalización laboral y la implementación de programas de salud ocupacional, lo que contribuye a mejorar las condiciones laborales en el medio rural (Fundazúcar, 2024).

5.2.3. Exportaciones y comercio exterior

La caña de azúcar y sus derivados como azúcar refinada, melaza y alcohol, representan el 4.2% de las exportaciones totales del país (Pineda Guzmán, 2024).

El Salvador exporta estos productos a más de 20 destinos internacionales, incluyendo Estados Unidos, Canadá, Corea del Sur y países de Centroamérica. Esta dinámica comercial ha sido fortalecida por acuerdos como el CAFTA-DR y tratados bilaterales que facilitan el acceso a mercados preferenciales.

A pesar de que el sector agropecuario ha enfrentado una disminución relativa en su participación global dentro del PIB, la caña de azúcar se mantiene como uno de los cultivos más competitivos, gracias a la inversión en tecnología, el mejoramiento genético y la eficiencia en los procesos de producción. La implementación de técnicas como el cultivo in vitro, el riego por goteo y la cosecha mecanizada han permitido aumentar los rendimientos y reducir los impactos ambientales (MAG, 2021; Mira, 2019).

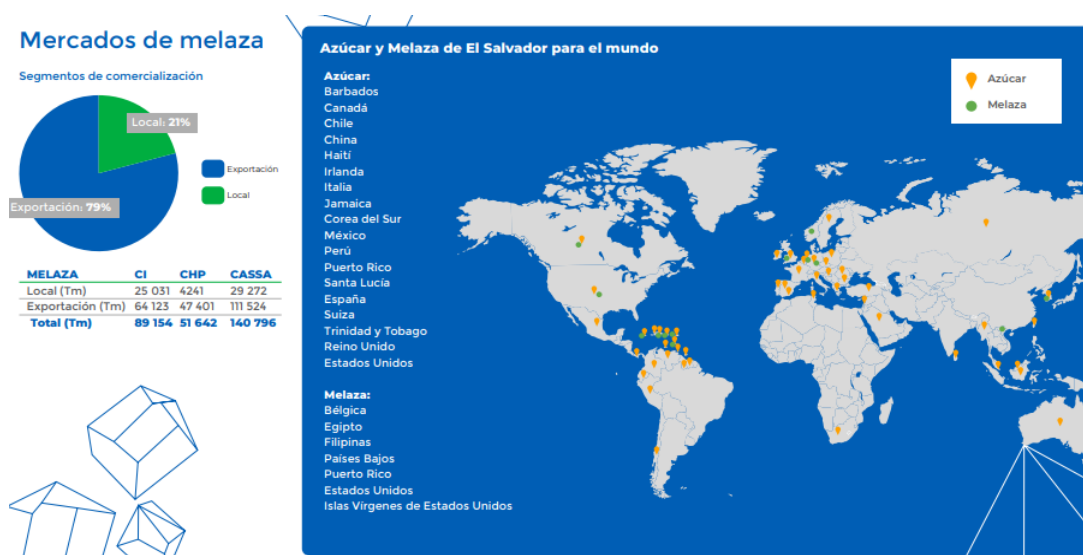


Figura 2. Países a los que el GRUPO CASSA exporta melaza y azúcar.

5.3. Rol del Grupo CASSA en la cadena agroindustrial

El Grupo CASSA (Compañía Azucarera Salvadoreña, S.A. de C.V.) desempeña un papel clave en la cadena agroindustrial de El Salvador, no solo como productor de azúcar, melaza y energía eléctrica, sino como agente de transformación sostenible, articulador de alianzas y promotor del desarrollo territorial.

5.3.1. Modelo agroindustrial rentable y sostenible

El Grupo CASSA opera dos ingenios principales: Central Izalco e Ingenio Chaparrastique, que procesan caña cultivada por más de 3,000 productores aliados. Su modelo de negocio se basa en la eficiencia productiva, la diversificación de productos y la sostenibilidad ambiental. En coherencia con su compromiso institucional, la empresa ha adoptado los Estándares del Global Reporting Initiative (GRI), reconocidos internacionalmente por su enfoque en la transparencia de impactos económicos, sociales y ambientales. Esta adopción permite a Grupo CASSA reportar su desempeño de manera estructurada y verificable, fortaleciendo así su cultura de mejora continua y su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Grupo CASSA, 2024b; Global Reporting Initiative, 2024).

5.3.2. Pilar de desarrollo económico y social

La operación de CASSA genera empleo directo e indirecto, dinamiza economías locales y fortalece la infraestructura rural. Su estrategia de sostenibilidad incluye el pilar “Motor de desarrollo”, que articula finanzas sostenibles, gestión de calidad e inocuidad, y relaciones con proveedores, consolidando su rol como eje de la cadena agroindustrial nacional (Grupo CASSA, 2024a).

5.3.3. Responsabilidad Social Empresarial (RSE) con enfoque territorial

El programa Aliados de la Comunidad ha beneficiado a más de 43,000 personas en 91 comunidades. Dentro de este marco, destacan dos iniciativas:

- **Relacionamiento Comunitario:** aborda a las comunidades como parte del ecosistema productivo, promoviendo inclusión, diálogo y corresponsabilidad.
- **Agua 10:** mejora la infraestructura de saneamiento en centros escolares, basado en el modelo WASH de UNICEF. Ha impactado a más de 10,951 personas mediante acceso a

agua potable, puntos de hidratación y prácticas higiénicas sostenibles (La Prensa Gráfica, 2021).

5.3.4. Alianzas estratégicas para el desarrollo

El Grupo CASSA ha establecido convenios con FEPADE y USAID, como parte del proyecto Educar y Convivir, que ha canalizado más de \$346,000.00 dólares en mejoras educativas y cohesión social en zonas cañeras. Estas alianzas multiplican el impacto de sus inversiones y refuerzan su rol como socio estratégico del desarrollo rural (La Prensa Gráfica, 2021).

5.3.5. Adaptación al cambio climático y seguridad hídrica

El Grupo CASSA impulsa proyectos de cosecha de aguas lluvias, instalación de sistemas de riego comunitario y mejoramiento de pozos, contribuyendo a la resiliencia hídrica de las comunidades agrícolas. Estas acciones fortalecen la sostenibilidad de la cadena agroindustrial frente a los desafíos climáticos (Diario El Mundo, 2024).

5.4. Fundamentos del cultivo in vitro de caña de azúcar

El cultivo in vitro de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una técnica biotecnológica que permite la propagación masiva de plantas genéticamente uniformes, libres de patógenos y con alto potencial productivo. Esta metodología ha cobrado relevancia en el sector agroindustrial salvadoreño como respuesta a la necesidad de mejorar la calidad de la semilla, optimizar el uso de mano de obra y conservar variedades élite (Cuéllar, 2016).

5.4.1. Principios del cultivo de tejidos vegetales

El cultivo in vitro se basa en la capacidad de las células vegetales de regenerar una planta completa bajo condiciones controladas. En caña de azúcar se utilizan meristemos apicales o yemas laterales como explantes, los cuales se desinfectan y se colocan en medios nutritivos que contienen sales minerales, vitaminas, reguladores de crecimiento y agentes antioxidantes. Los medios más utilizados son los de Murashige y Skoog (1962) y White (1963), adaptados según el genotipo y la etapa del cultivo (Zuñiga Pinto, 2012).

El proceso incluye varias fases: establecimiento, multiplicación, enraizamiento y aclimatación. Cada etapa requiere condiciones específicas de luz, temperatura, pH y concentración hormonal para garantizar el desarrollo óptimo de las plántulas.

5.4.2. Ventajas del cultivo in vitro

Las principales ventajas del cultivo in vitro en caña de azúcar son:

- **Sanidad vegetal:** Las plántulas obtenidas están libres de virus, bacterias y hongos, lo que reduce la incidencia de enfermedades como roya café, roya anaranjada (*Puccinia kuehni*) y el virus del mosaico, comúnmente causado por el *Sugarcane mosaic virus* (SCMV).
- **Uniformidad genética:** Se garantiza la pureza varietal, lo que permite establecer lotes homogéneos y predecibles en rendimiento.
- **Eficiencia productiva:** Se acelera el proceso de propagación, se reduce el espacio requerido para semilleros y se mejora la tasa de multiplicación por unidad de tiempo (Sánchez Ruiz, 2015).

Estas ventajas permiten superar las limitaciones del método tradicional de obtención de semilla por esquejes de campo, que suele estar expuesto a contaminación, variabilidad genética y baja eficiencia.

5.4.3. Aplicaciones en la mejora de semilla y conservación de germoplasma

El cultivo in vitro es una herramienta clave en programas de mejoramiento genético y conservación de germoplasma. Permite mantener variedades élite como CP 73-1547, CG 02-163 y otras líneas comerciales bajo condiciones estériles, asegurando su disponibilidad para futuras siembras. Además, facilita la introducción de nuevas variedades resistentes a estrés hídrico, plagas y enfermedades, contribuyendo a la sostenibilidad del cultivo (INTA, 2025).

En el Grupo CASSA esta técnica se ha implementado en el laboratorio de cultivo de tejidos del Ingenio Central Izalco, donde se producen plántulas para semilleros básicos y comerciales, optimizando el uso de mano de obra y mejorando los rendimientos agrícolas.

5.5. Manejo agronómico integral en sistemas de producción de caña de azúcar

El Salvador ha desarrollado un enfoque técnico y sostenible para el cultivo de caña de azúcar, basado en la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), que integran criterios de eficiencia productiva, protección ambiental y bienestar laboral. Este manejo agronómico integral se articula en tres pilares fundamentales: siembra y cosecha semi mecanizada, evaluación varietal y fitosanitaria, y supervisión de semilleros.

5.5.1. Siembra y cosecha semi mecanizada

La siembra de caña de azúcar en El Salvador se realiza siguiendo curvas a nivel para prevenir la erosión, con preparación del terreno que incluye subsolado, rastreo y surcado. Se emplean esquejes de alta calidad genética, seleccionados por su vigor y sanidad. La siembra puede ser manual o semi mecanizada, utilizando maquinaria adaptada para optimizar la distribución de los esquejes y reducir la compactación del suelo.

La cosecha semi mecanizada se promueve como alternativa a la quema tradicional, con el uso de cortadoras y cargadores que permiten una recolección más limpia y eficiente. Esta práctica mejora la calidad de la caña entregada al ingenio, reduce emisiones contaminantes y protege la salud de los trabajadores agrícolas (Fundazúcar, 2015).

5.5.2. Evaluación de calidad varietal y control fitosanitario

El sector cañero salvadoreño ha adoptado criterios técnicos para la selección varietal, priorizando aquellas variedades con alto contenido de sacarosa, resistencia a enfermedades y adaptación a condiciones agroecológicas locales. La evaluación varietal se realiza mediante ensayos en campo y análisis de laboratorio, considerando parámetros como brotación, vigor vegetativo y rendimiento industrial.

El control fitosanitario se basa en el monitoreo constante de plagas y enfermedades, la aplicación racional de agroquímicos y el uso de bioinsumos. Se promueve el manejo integrado de plagas (MIP), que incluye prácticas culturales, biológicas y químicas, con énfasis en la prevención y en el uso de productos autorizados por el MAG (Fundazúcar, 2015).

5.5.3. Supervisión de semilleros básicos y comerciales

Los semilleros son fundamentales para garantizar la calidad genética y sanitaria del material propagado. En El Salvador se establecen semilleros básicos y comerciales bajo estrictos protocolos técnicos, que incluyen análisis de suelo, nivelación, selección de esquejes, control de malezas y fertilización balanceada.

La trazabilidad genética se asegura mediante registros técnicos y formatos estandarizados, como los incluidos en el Cuaderno de Registro de BPA. La supervisión incluye visitas periódicas, muestreos y evaluación del desarrollo vegetativo, con el objetivo de garantizar que el material esté libre de enfermedades y cumpla con los estándares de calidad exigidos por los ingenios (Fundazúcar, 2015; Universidad de El Salvador, 2023).

6. METODOLOGÍA

6.1. Descripción del área de estudio

La pasantía se realizó en las instalaciones del Grupo CASSA, específicamente en el Ingenio Central Izalco, donde se desarrollan procesos de producción in vitro de semilla de caña de azúcar y manejo agronómico. Esta unidad productiva representa un entorno técnico especializado, orientado a la eficiencia operativa, la innovación tecnológica y la sostenibilidad ambiental. La infraestructura incluye laboratorios de cultivo de tejidos, viveros, áreas de campo y sistemas de riego, todos interrelacionados para garantizar la calidad genética y fitosanitaria del material vegetal.

La pasantía se llevó a cabo en el marco de un modelo agroindustrial que integra a más de 3,000 productores aliados, lo que permite una articulación entre la investigación aplicada, la transferencia tecnológica y la producción comercial. El área de estudio se caracteriza por la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA), protocolos de bioseguridad, trazabilidad de procesos y monitoreo de indicadores agronómicos, elementos que fortalecen la competitividad del sector cañero nacional (Grupo CASSA, 2024).

6.2. Enfoque metodológico

La pasantía profesional se desarrolló bajo un enfoque técnico-aplicado, orientado a fortalecer competencias en biotecnología vegetal, manejo agronómico y gestión

documental. Se siguió el plan de trabajo aprobado por la Facultad de Ciencias Agronómicas (febrero 2025), incorporando actividades emergentes según las necesidades del Grupo CASSA. La metodología combinó:

- Técnicas de laboratorio (cultivo in vitro).
- Actividades de campo (manejo agronómico).
- Procesos administrativos (gestión de informes y recursos).

6.3. Metodología de laboratorio

El laboratorio de cultivo de tejidos donde se desarrolló la fase inicial de la pasantía está ubicado dentro del complejo agroindustrial del Ingenio Central Izalco, en el municipio de Izalco, departamento de Sonsonate. Este laboratorio forma parte de las instalaciones del Grupo CASSA y está diseñado específicamente para la micropropagación vegetal, con énfasis en especies de interés agroindustrial como la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

La infraestructura del laboratorio está dividida en áreas funcionales que permiten el desarrollo ordenado de cada etapa del cultivo in vitro:

- **Área de preparación de medios:** equipada con balanzas analíticas de precisión marca Ohaus, modelo Pioneer PX, sistema de filtración de agua tipo ósmosis inversa, y autoclave vertical marca Yamato, modelo SM300, para la esterilización de medios y materiales.
- **Área de siembra aséptica:** cuenta con dos cámaras de flujo laminar marca ESCO, modelo Airstream®, que garantizan condiciones estériles para la manipulación de explantes. Esta zona está aislada del resto del laboratorio para evitar contaminación cruzada.
- **Área de crecimiento y multiplicación:** equipada con estanterías metálicas con iluminación LED marca Philips, modelo Grow Light 24W, que proporcionan el fotoperiodo requerido. La temperatura se mantiene entre 24 °C y 26 °C mediante aire acondicionado marca LG, modelo Dual Inverter 12000 BTU, y se monitorea con termohigrómetros digitales.
- **Área de lavado y esterilización:** destinada a la limpieza de frascos, instrumentos y utensilios de vidrio. Se utilizan detergentes neutros y soluciones desinfectantes

genéricas, evitando el uso de nombres comerciales en cumplimiento con las normas institucionales.

- **Área de almacenamiento de plántulas:** acondicionada con estanterías de acero inoxidable y sistema de ventilación controlada. Durante la pasantía se realizaron mejoras en la iluminación mediante la instalación de focos LED adicionales, lo que permitió optimizar el desarrollo de las plántulas en fase de enraizamiento.

El laboratorio cuenta además con un sistema de registro digital para el seguimiento de lotes, donde se documenta cada etapa del proceso: desde la desinfección inicial hasta la aclimatación. Este sistema incluye códigos de identificación, fechas de siembra, tipo de medio utilizado, número de subcultivos realizados y observaciones técnicas.

La disponibilidad de equipos especializados y la supervisión constante del personal técnico permitieron aplicar protocolos estandarizados de micropropagación, así como realizar ajustes metodológicos según las condiciones particulares de cada variedad de caña. El entorno controlado del laboratorio fue clave para garantizar la calidad genética y fitosanitaria del material vegetal producido.

- **Selección y desinfección del material vegetal**

Se utilizaron meristemos apicales de variedades de caña de azúcar CG 02-163 y CP 73-2086; la desinfección se hizo con solución de hipoclorito de sodio al 1.5% durante 15 minutos, seguida de enjuague con agua destilada estéril. El material vegetal se manipuló en una cámara de flujo laminar marca ESCO, modelo Airstream®.

- **Preparación de medios de cultivo**

La composición del medio de cultivo está basada en la fórmula de Murashige y Skoog (1962), ajustada para caña de azúcar; la cual contiene: nitrato de amonio, nitrato de potasio, fosfato monopotásico, sulfato de magnesio, calcio, hierro, vitaminas, sacarosa y agar. Los reguladores de crecimiento que se usaron fueron ácido indolacético (AIA) y bencilaminopurina (BAP). La cristalería se esterilizaba en autoclave vertical marca Yamato, modelo SM300, a 121 °C durante 20 minutos.



Figura 3. Preparación de medio de cultivo.

- **Inoculación y cultivo**

La siembra se realizó en frascos de vidrio tipo Ball® de 250 ml, a temperatura controlada entre 24–26 °C mediante aire acondicionado marca LG, modelo Dual Inverter 12000 BTU.

- **Subcultivo y multiplicación**

Los meristemas apicales se transferían cada 21 días a medio fresco, para evaluar el número de brotes, longitud de tallo y presencia de callos.

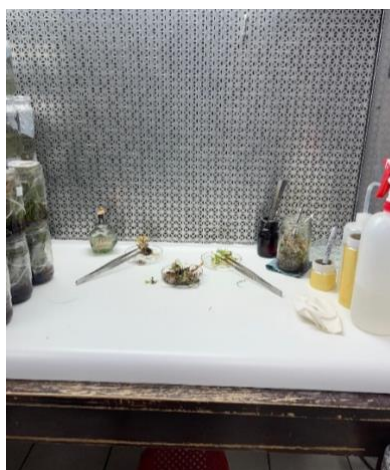


Figura 4. Multiplicación de plantas de caña de azúcar de la variedad CG02-163.

- **Enraizamiento**

El medio de cultivo utilizado para enraizamiento se suplementaba con ácido indol butírico en dosis de 0.5 mg/l; se observaba la formación de raíces primarias y secundarias.

6.3.1. Vivero de aclimatación

La fase de aclimatación de las plántulas micropropagadas se llevó a cabo en el vivero experimental ubicado en las instalaciones del Ingenio Central Izalco. Este espacio está diseñado para facilitar la transición de las plantas desde condiciones in vitro a condiciones ex vitro, permitiendo su adaptación progresiva al ambiente natural.

El vivero cuenta con:

- **Estructura tipo túnel** con cubierta de malla sombra al 50%, que regula la intensidad lumínica y protege contra estrés hídrico y térmico.
- **Mesas de cultivo** elevadas, construidas con estructura metálica y bandejas plásticas, que permiten un drenaje adecuado y evitan el contacto directo con el suelo, reduciendo el riesgo de contaminación por patógenos.
- **Sistema de riego por aspersion manual**, complementado con nebulizadores para mantener la humedad relativa entre 70% y 80% durante los primeros días de aclimatación.
- **Sustrato estéril**, compuesto por una mezcla de turba, perlita y vermiculita en proporciones 1:1:1, seleccionado por su capacidad de retención de humedad, aireación y baja carga microbiana.

Durante la pasantía, se aplicaron protocolos de aclimatación gradual, que incluyeron:

- **Reducción progresiva de la humedad ambiental** mediante la apertura parcial de las bandejas de cultivo.
- **Monitoreo diario de temperatura y humedad** con termohigrómetros digitales.
- **Evaluación de la supervivencia y vigor de las plántulas**, registrando parámetros como número de hojas, longitud de raíz y presencia de síntomas de estrés.

Este proceso fue supervisado por técnicos del área de producción vegetal, quienes brindaron retroalimentación sobre el manejo fitosanitario, la frecuencia de riego y las condiciones óptimas para el trasplante definitivo al campo.

Para aclimatar las plantas de caña de azúcar se trasplantaban a bandejas plásticas de 72 cavidades con sustrato de turba, perlita y vermiculita en relación 2:1:1, a las cuales se les aplicaba riego manual con agua potable.



Figura 5. Riego de plantas en invernadero de aclimatación.

Para tener un control de calidad se lleva un registro fotográfico, las fotos son tomadas con cámara digital marca Canon, modelo EOS Rebel T7.

6.4. Metodología de campo

6.4.1. Área de campo y producción agronómica

La etapa final del proceso de producción vegetal se desarrolló en las parcelas experimentales del Ingenio Central Izalco, destinadas al establecimiento de plántulas aclimatadas de caña de azúcar. Estas áreas están ubicadas en zonas con condiciones agroecológicas favorables para el cultivo, incluyendo suelos de textura franco-arcillosa, buen drenaje y acceso a riego tecnificado.

Las actividades realizadas en campo incluyeron:

- **Preparación del terreno** mediante labores de limpieza, rastreo y nivelación, con tractor John Deere, modelo 5075E, equipado con rastra de discos.
- **Diseño de surcos y trazado de líneas de plantación**, siguiendo un marco de siembra de 1.5 m entre surcos y 0.5 m entre plantas, para optimizar la densidad poblacional y facilitar las labores de manejo.
- **Trasplante manual de plántulas**, utilizando herramientas de mano desinfectadas previamente. Se aplicó una solución de micorrizas comerciales (sin mencionar marcas) para favorecer el establecimiento radicular. Se colocó cobertura con mulch vegetal para conservar humedad.

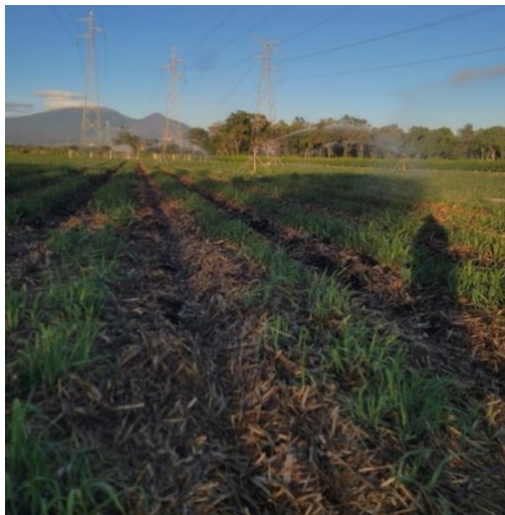


Figura 8. Supervisión de riego por aspersión en hacienda El Diamante.

6.5. Metodología administrativa

Para la planificación de actividades se elaboraba un cronograma de actividades con software Excel®; se hacía redacción de informes mensuales, fichas técnicas y bitácoras, utilizando las Normas APA (7ª ed.) para citas y referencias. Además, se elaboraba un inventario de insumos y equipos; y se hacía solicitud de materiales mediante formularios internos.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Competencias técnicas adquiridas

Durante la pasantía de práctica profesional en el Grupo CASSA se consolidaron competencias técnicas sobre el cultivo in vitro de caña de azúcar en las etapas de preparación de medios de cultivo, inoculación, multiplicación y enraizamiento. Se aplicaron protocolos basados en Murashige y Skoog (1962), adaptados a las condiciones del laboratorio institucional.



Figura 9. Plántula de la variedad CP72-2086 en etapa de multiplicación.

El manejo de equipos como la cámara de flujo laminar, el autoclave y la balanza analítica permitió garantizar la esterilidad y precisión en cada procedimiento. Se adquirió experiencia en la calibración de instrumentos, aplicación de normas de bioseguridad y control de variables ambientales como temperatura, humedad relativa y fotoperiodo.



Figura 10. Lote de plántulas de la variedad CG02-163 trasladadas a fase de raíz.

Estas competencias técnicas fueron fundamentales para lograr la regeneración eficiente de explantes, evidenciando una comprensión sobre los principios fisiológicos y bioquímicos involucrados en la micropropagación vegetal.



Figura 11. Limpieza y separación de plántulas de la variedad CP72-2086.

7.2. Resultados en laboratorio: multiplicación y enraizamiento

Durante la fase de multiplicación se observó una respuesta diferenciada entre las variedades de caña de azúcar CG 02-163 y CP 72-2086. La primera mostró mayor tasa de brotación por explante, lo que supone una mayor sensibilidad a la acción de las citoquininas como el BAP (6-bencilaminopurina). Este comportamiento coincide con lo reportado por Parreño (2012), quien destaca la eficiencia de la variedad de caña de azúcar CG 02-163 en sistemas de cultivo in vitro.



Figura 12. Plántulas de la variedad CG02-163 en preparación para traslado hacia vivero de aclimatación.

En la etapa de enraizamiento se utilizó ácido indolacético (AIA) como regulador de crecimiento, obteniendo porcentajes de formación de raíces superiores al 75% en ambas variedades. La formación de raíces adventicias fue más vigorosa en la variedad CG 02-163,

lo que facilitó su posterior aclimatación. Estos resultados confirman la importancia de ajustar la concentración hormonal según la variedad y el tipo de explante utilizado.



Figura 13. Brotes de raíz en la variedad CG02-163.

7.3. Aclimatación de plántulas y manejo en vivero

Las plántulas obtenidas fueron trasladadas al vivero universitario, donde se evaluó su supervivencia y vigor. Se aplicaron prácticas como el uso de sustrato esterilizado, riego controlado y monitoreo fitosanitario. La variedad CG 02-163 presentó mayor desarrollo radicular y foliar, lo que favoreció su adaptación a condiciones ex vitro.



Figura 14. Plantas de la variedad CG02-163 en invernadero de aclimatación.

Se observó que la aclimatación exitosa dependió de factores como la calidad del sustrato, la frecuencia de riego y la protección contra patógenos. La experiencia permitió comprender la transición fisiológica que ocurre al pasar de condiciones controladas a

ambientes naturales, así como la importancia de mantener un microclima adecuado durante las primeras semanas.



Figura 15. Riego en vivero de aclimatación.

7.4. Establecimiento en campo y manejo agronómico

Una vez aclimatadas, las plántulas fueron establecidas en campo bajo condiciones de riego por gravedad y fertilización localizada. Se monitoreó el prendimiento, el desarrollo vegetativo y la respuesta a prácticas agronómicas sostenibles. La variedad CG 02-163 mostró mayor porcentaje de prendimiento, lo que se atribuye a su vigor inicial y a la calidad del sistema radicular.



Figura 16. Monitoreo en semillero básico de caña de azúcar en hacienda San Antonio.

Se implementaron prácticas como el uso de mulch vegetal para conservar la humedad del suelo y la aplicación de micorrizas para mejorar la absorción de nutrientes. Estas estrategias

contribuyeron a reducir el estrés hídrico y a mejorar el crecimiento inicial de las plantas, alineándose con los principios de la agricultura de precisión y la sostenibilidad productiva.



Figura 17. Mulch de residuos de cosecha en hacienda Miravalle.

7.5. Gestión documental y redacción técnica

Durante la pasantía se elaboraron fichas técnicas, bitácoras de laboratorio y reportes mensuales, aplicando criterios de redacción técnica y citación académica según las normas APA (7ª ed.). Esta experiencia fortaleció la capacidad de síntesis, análisis crítico y presentación profesional de resultados.

La documentación generada permitió llevar un control riguroso de las actividades realizadas, facilitando la trazabilidad de los procesos y la evaluación de resultados. Además, se desarrollaron habilidades en el uso de formatos institucionales, organización de información y elaboración de informes con lenguaje técnico preciso.

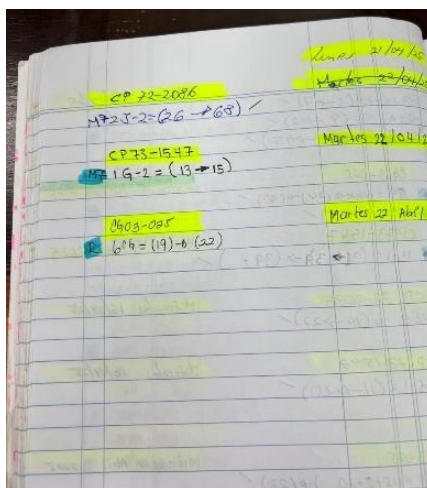


Figura 18. Bitácora de laboratorio.

7.6. Discusión general de los resultados

Los resultados obtenidos evidencian la eficacia del protocolo de micropropagación aplicado, especialmente en la variedad CG 02-163, que mostró superioridad en multiplicación, enraizamiento y supervivencia. Estos hallazgos son consistentes con estudios realizados en otros laboratorios de cultivo de tejidos en Centroamérica (Murashige & Skoog, 1962; Parreño, 2012).

La experiencia permitió identificar limitaciones como la sensibilidad de los explantes a la contaminación, la variabilidad genética entre lotes y la necesidad de ajustes en el fotoperiodo. Asimismo, se comprendió la importancia de la trazabilidad documental y el control de calidad en cada etapa del proceso.

En campo se constató que el manejo post-trasplante es determinante para el éxito del establecimiento del cultivo. La implementación de prácticas sostenibles demostró ser efectiva para mejorar las condiciones edáficas y reducir el estrés hídrico. Estos aprendizajes son relevantes en el contexto de la producción agrícola moderna.

Desde el punto de vista formativo, la pasantía permitió aplicar conocimientos teóricos en un entorno productivo real, desarrollar habilidades técnicas específicas y comprender la dinámica de trabajo de una empresa agroindustrial. Se consolidó la capacidad de análisis, redacción técnica y trabajo colaborativo, elementos claves para el ejercicio profesional en agronomía.

8. CONCLUSIONES

La producción in vitro de semilla de caña de azúcar permitió responder de manera efectiva al problema de escasez de mano de obra en la siembra tradicional por esquejes, ofreciendo una alternativa técnica que reduce la dependencia de labores manuales intensivas en campo.

Las plántulas obtenidas mediante cultivo de tejidos mostraron alta uniformidad genética, sanidad vegetal y vigor, lo que facilitó su aclimatación y posterior establecimiento en campo, contribuyendo a mejorar la eficiencia operativa y la calidad del cultivo.

La aplicación de protocolos estandarizados en el laboratorio junto con el manejo agronómico en vivero y campo, permitió validar la viabilidad técnica de la micropropagación como estrategia para incrementar la disponibilidad de semilla de caña de azúcar en zonas productoras.

Se fortalecieron competencias profesionales en el manejo de equipos para preparación de medios nutritivos, control de calidad y documentación técnica, lo que evidencia el cumplimiento de los objetivos formativos de la pasantía.

La experiencia adquirida en la supervisión de sistemas de riego, reparación de bombas y medición de caudal, aportó conocimientos prácticos en la gestión hídrica, aspecto clave para garantizar el desarrollo óptimo de las plántulas en campo.

La integración de actividades como la mejora en la iluminación del cuarto de almacenamiento y la logística de transporte de equipos, demostró capacidad de adaptación y resolución de problemas técnicos en tiempo real.

La pasantía permitió aplicar conocimientos teóricos en un entorno agroindustrial real, contribuyendo al fortalecimiento de prácticas sostenibles, la optimización de recursos y la mejora continua en los procesos de producción de semilla de caña de azúcar.

9. RECOMENDACIONES

Fortalecer la infraestructura del laboratorio de cultivo de tejidos, incorporando más estaciones de trabajo y equipos especializados que permitan aumentar la capacidad de producción de plántulas, esto contribuirá a cubrir la demanda de semilla de caña de azúcar en períodos de siembra.

Establecer un programa de capacitación continua para el personal técnico y operativo en técnicas de cultivo in vitro, manejo agronómico de plántulas y control de calidad, para garantizar la sostenibilidad del proceso y la transferencia de conocimientos.

Integrar prácticas de agricultura sostenible en el manejo de las plántulas en campo como el uso de mulch vegetal, biofertilizantes y micorrizas, que han demostrado mejorar la retención de humedad y la absorción de nutrientes, reduciendo el impacto ambiental y los costos de producción.

Evaluar periódicamente la eficiencia de los sistemas de riego en las haciendas, mediante mediciones de caudal y mantenimiento preventivo de bombas y motores, con el objetivo de asegurar el desarrollo saludable de las plántulas y maximizar el rendimiento del cultivo.

El laboratorio de cultivo de tejidos debe mantener una planificación de producción basada en metas mensuales, ajustadas a la capacidad instalada y a la demanda de las cooperativas, esto evitará sobrecargas de trabajo y garantizará la disponibilidad oportuna de plántulas para el trasplante.

Implementar un sistema de monitoreo digital para el seguimiento de variables agronómicas en campo como la altura y grosor del tallo, y el número de raíces, con el propósito de facilitar la toma de decisiones en tiempo real y permitir evaluar el desempeño de las plántulas in vitro frente a las sembradas por esquejes tradicionales.

Fortalecer la coordinación logística entre las áreas de laboratorio y campo, especialmente en el transporte de tuberías, motores y bombas para riego, la planificación de rutas y la verificación de equipos, los cuales deben integrarse como parte del protocolo operativo para evitar retrasos y asegurar la integridad de los materiales

10. BIBLIOGRAFÍA

- Cuéllar, J. (2016). *Propagación vegetativa in vitro a partir de hojas jóvenes de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.)*. Agronomía Mesoamericana. Recuperado de (PDF) Propagación vegetativa in vitro a partir de hojas jóvenes de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.)
- Diario El Mundo. (2024, 7 de octubre). *Grupo CASSA: Socios estratégicos en el fortalecimiento comunitario*. Recuperado de <https://diario.elmundo.sv/el-mundo-sostenible/grupo-cassa-socios-estrategicos-en-el-fortalecimiento-comunitario>
- Fundazúcar El Salvador. (2024). *Agroindustria azucarera: Pilar para el desarrollo socioeconómico de El Salvador*. Recuperado de <https://fundazucarelsalvador.com/agroindustria-azucarera-pilar-para-el-desarrollo-socioeconomico-de-el-salvador>
- Global Reporting Initiative. (2024). *GRI Standards Spanish Translations*. Recuperado de <https://www.globalreporting.org/how-to-use-the-gri-standards/gri-standards-spanish-translations/>
- Great Place to Work CARCA. (2024). *Grupo CASSA (Compañía Azucarera Salvadoreña)*. Recuperado de <https://greatplacetoworkcarca.com/es/certificada/grupo-cassa-compania-azucarera-salvadorena>
- Grupo CASSA. (2024a). *Grupo CASSA – Compañía Azucarera Salvadoreña*. Recuperado de <https://www.grupocassa.com/english>
- Grupo CASSA. (2024b). *Informe de sostenibilidad 2023*. Recuperado de <https://www.grupocassa.com/wp-content/uploads/2024/05/2023-Informe-de-Sostenibilidad-CASSA-2023-.pdf>
- Grupo CASSA. (2023). *Informe de gestión y sostenibilidad 2023*. Recuperado de https://www.grupocassa.com/wp-content/uploads/2024/11/Informe-de-Gestion-y-Sostenibilidad-CASSA-2023-f_compressed.pdf
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA]. (2025). *Estrategias de cultivo in vitro para variedades de caña de azúcar*. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/noticias/estrategias-de-cultivo-vitro-para-variedades-de-cana-de-azucar-de-inta>

- La Prensa Gráfica. (2021, 11 de octubre). *Grupo CASSA: De producir azúcar a ser parte de un ecosistema sostenible*. Recuperado de <https://www.laprensagrafica.com/elsalvador/Grupo-CASSA-De-producir-azucar-a-ser-parte-de-un-ecosistema-sostenible-20211011-0031.html>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2021). *Anuario de estadísticas agropecuarias 2019–2020*. Recuperado de <https://www.mag.gob.sv/wp-content/uploads/2021/09/Anuario-de-Estadi%CC%81sticas-Agropecuarias-2019-2020-Final-1.pdf>
- Mira, E. (2019). *Agroindustria del azúcar: Un análisis de sus efectos económicos, sociales y ambientales en El Salvador*. Centro de Investigación sobre Inversión y Comercio. Recuperado de <https://centroamerica.boell.org/sites/default/files/2020-04/DOCUMENTOFINALESTUDIOCANADEAZUCAR.pdf>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Parreño, J. (2012). *Establecimiento in vitro de caña de azúcar (Saccharum officinarum) variedad CP 72-2086* [Tesis de licenciatura, Universidad Zamorano]. Repositorio Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/1251>
- Pineda Guzmán, N. J. (2024). *Exportación de productos agropecuarios y su impacto en el PIB de El Salvador (2018–2023)* [Tesis de licenciatura, Universidad de El Salvador]. Recuperado de <https://repositorio.ues.edu.sv/items/4913bb61-c007-4b50-a1e3-98e3fe27428a>
- Sánchez Ruiz, A. (2015). *Propagación in vitro de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en sustratos* [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, México]. Recuperado de http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/2815/Sanchez_Ruiz_A_MC_Botanica_2015.pdf?sequence=1
- Universidad de El Salvador [UES]. (2023). *Estudio de buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de caña de azúcar y procedimientos de manufactura para la ACOPANELA de R.L.* Recuperado de <https://repositorio.ues.edu.sv/items/01c794db-2d2a-4efa-bc6b-8ceb04f938e1>

Villeda, J. (2023). *Escasez de mano de obra desafía la agricultura en El Salvador*. *El Mundo*. Recuperado de <https://diario.elmundo.sv/economia/escasez-de-mano-de-obra-desafia-la-agricultura-en-el-salvador>

Zuñiga Pinto, A. I. (2012). *Establecimiento in vitro de caña de azúcar (Saccharum officinarum) - variedad CP 73-1547* [Tesis de licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano]. Recuperado de <https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/siica/Consulta/verDoc.aspx?num=511>