

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE GUASAVE

T E S I S

“EFECTO BENÉFICO DE SESBANIA (*Sesbania grandiflora*) EN LA NUTRICIÓN DEL SUELO PARA EL CULTIVO SOSTENIBLE DE MAÍZ AZUL EN GUASAVE, SINALOA”

presentada por:

CASILLAS JIMÉNEZ MARÍA GUADALUPE

como requisito para la obtención del grado:

INGENIERO EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE

Director de tesis:

MC. CRUZ ENRIQUE BELTRÁN BURBOA



1. CARTA DE LIBERACIÓN O APROBACIÓN DE TESIS. (Consultar en la coordinación de titulación)

Agregar documento de autorización expedido por la Institución.

2. AGRADECIMIENTOS O DEDICATORIA

Quiero agradecer principalmente a Dios porque sé que sin su ayuda jamás hubiera podido lograr y cumplir cada una de mis metas.

A mis padres por su amor incondicional, apoyo y sacrificios. Sin ustedes, no estaría donde estoy hoy, gracias por creer en mí y por estar siempre allí para mí, gracias por siempre impulsarme a ser mejor y ser mi guía y mi inspiración. Su apoyo y amor me han permitido alcanzar mis metas y soñar con un futuro mejor.

A mis hermanos y amigos por siempre apoyarme y darme un empujoncito cuando les decía que ya no podía e incluso pensaba en tirar la toalla siempre estuvieron para darme aliento y apoyo incondicional.

A mis maestros, gracias por su dedicación, paciencia y sabiduría. Su enseñanza y orientación me han permitido crecer y desarrollarme como persona y profesional.

Un agradecimiento especial al Maestro Cruz Enrique Beltrán por su dedicación, paciencia e inspiración. Su pasión por la enseñanza y su compromiso con el conocimiento han dejado una huella imborrable en mi formación. Gracias por motivarme a dar siempre lo mejor de mí, por compartir su sabiduría con generosidad y por enseñarme que el verdadero aprendizaje va más allá de los libros.

De igual manera agradecer al Instituto Tecnológico Superior de Guasave por la oportunidad de cursar la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable y por todas las experiencias que viví a lo largo de la misma.

3. RESUMEN.

El siguiente trabajo evaluó la efectividad del establecimiento de la planta *Sesbania* (*Sesbania grandiflora*) en la nutrición de un suelo agrícola en la región de Guasave, Sinaloa, específicamente en la concentración de nitratos, que son una fuente de nitrógeno para el cultivo, y que por medio de microorganismos simbiotes se depositan en la tierra donde *sesbania* crece. El experimento tuvo lugar en una parcela previamente acondicionada para este fin, antes de sembrar se levantó un muestreo general de suelo para conocer su fertilidad, utilizando equipo agrícola como sembradoras de precisión se estableció un cultivo uniforme al cual se le dio seguimiento y manejo agronómico completo hasta la planta llegar a madurez fisiológica, concluido el cultivo de *sesbania* se analizó nuevamente los beneficios al suelo con un segundo análisis de fertilidad del suelo.

Los resultados mostraron un incremento significativo en la concentración de nitratos en el suelo, alcanzando un aumento de 200 partes por millón (ppm) en los primeros 30 cm de profundidad. Este incremento evidencia la capacidad de la *sesbania* para fijar nitrógeno de manera natural, mejorando la disponibilidad de este nutriente esencial para los cultivos posteriores en este caso maíz azul criollo. El análisis también destacó el potencial de la *sesbania* para reducir la dependencia de fertilizantes químicos y promover prácticas agrícolas sostenibles significando un ahorro sustancial para los agricultores locales en un 58% para la inversión de fertilizantes nitrogenados. Además, su incorporación en sistemas de rotación de cultivos podría contribuir a la restauración de suelos degradados y al manejo agroecológico de suelos con problemas de erosión.

En conclusión, este estudio demuestra que la *sesbania* es una herramienta eficaz para enriquecer la calidad del suelo, siendo una opción replicable en distintas condiciones agroclimáticas como es la zona de Guasave. Se recomienda explorar su implementación a mayor escala y en diferentes contextos agrícolas para maximizar sus beneficios ambientales y económicos.

Palabras clave: *sesbania grandiflora*, nitratos, fertilidad, agroecología.

ABSTRACT.

The following study evaluated the effectiveness of establishing the plant *Sesbania* (*Sesbania grandiflora*) in improving the nutrition of agricultural soil in the region of Guasave, Sinaloa, specifically focusing on nitrate concentrations. Nitrates serve as a nitrogen source for crops and, through symbiotic microorganisms, are deposited into the soil where *Sesbania* grows. The experiment took place on a plot previously prepared for this purpose. Before sowing, a general soil sampling was conducted to assess its fertility, using agricultural equipment such as precision planters, a uniform crop was established, monitored, and managed agronomically until the plant reached physiological maturity. After completing the *Sesbania* crop, the benefits to the soil were reassessed through a second soil fertility analysis.

The results showed a significant increase in nitrate concentration in the soil, reaching an increase of 200 parts per million (ppm) in the first 30 cm of depth. This increase demonstrates *Sesbania*'s ability to naturally fix nitrogen, thereby improving the availability of this essential nutrient for subsequent crops—in this case, native blue maize. The analysis also highlighted *Sesbania*'s potential to reduce reliance on chemical fertilizers and promote sustainable agricultural practices, resulting in substantial savings of up to 58% on nitrogen fertilizer investments for local farmers. Moreover, incorporating *Sesbania* into crop rotation systems could contribute to the restoration of degraded soils and the agroecological management of soils with erosion issues.

In conclusion, this study demonstrates that *Sesbania* is an effective tool for enriching soil quality and represents a replicable option under different agroclimatic conditions, such as those in the Guasave area. It is recommended to explore its implementation on a larger scale and in various agricultural contexts to maximize its environmental and economic benefits.

Keywords: *Sesbania grandiflora*, nitrates, fertility, agroecology.

4. CONTENIDO O ÍNDICE.

1.CARTA DE LIBERACIÓN O APROBACIÓN DE TESIS	1
2. AGRADECIMIENTOS O DEDICATORIA.....	2
3.RESUMEN (ABSTRACT).....	3
4.CONTENIDO O ÍNDICE.....	5
5. ÍNDICE DE CUADROS, TABLAS O FIGURAS.....	6
6. INTRODUCCIÓN	7
7. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
8. JUSTIFICACIÓN.....	9
9. HIPÓTESIS.....	10
10. OBEJTIVOS.....	11
10.1 Objetivo general	11
10.2 Objetivos específicos.....	11
11. MARCO TEÓRICO	13
12. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
13. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
15. REFERENCIAS	37

5. ÍNDICE DE CUADROS, TABLAS O FIGURAS.

Figura 1: <i>Municipio de Guasave, Sinaloa</i>	7
Figura 2: <i>Planta e inflorescencia de la Sesbania</i>	14
Figura 3: <i>Raíces de planta de sesbania con nódulos formados por bacterias simbiotes</i>	15
Figura 4: <i>Maíces azules sembrados en la región de Guasave</i>	20
Figura 5: <i>Toma de muestra para análisis de fertilidad de suelos</i>	24
Figura 6: <i>Establecimiento y manejo de cultivo de sesbania en campo</i>	26
Figura 7: <i>Análisis de suelo antes y después de establecer la sesbania</i>	30
Figura 8: <i>Gráfica de incremento en la concentración de nitrato en el suelo</i>	32
Figura 9: <i>Evolución de precio de fertilizantes en Sinaloa</i>	33
Figura 10: <i>Costos de producción de una hectárea de maíz blanco Sinaloa O-I 2024</i> .	34
Tabla 1: <i>Conversión de kilos de nitrógeno a su equivalente en fertilizantes</i>	32
Tabla 2: <i>Costo al productor promedio de los fertilizantes nitrogenados en Sinaloa</i>	33
Tabla 3: <i>Referencia de tarifa maquila</i>	34

6. INTRODUCCIÓN.

La sostenibilidad agrícola se ha convertido en un objetivo central para los sistemas de producción actuales, especialmente en regiones como Guasave, Sinaloa, donde los cultivos tradicionales enfrentan desafíos relacionados con la degradación del suelo, la sequía y la dependencia de insumos químicos como los son los fertilizantes. En este contexto, la introducción de cultivos de cobertura como la *Sesbania grandiflora* ofrece una estrategia prometedora para mejorar la fertilidad del suelo y reducir los costos asociados con la producción agrícola.

La presente investigación se centra en analizar los beneficios de establecer la planta de *Sesbania* como un cultivo de cobertura para fertilizar maíz pigmentado, un cultivo de un gran valor cultural y potencial económico en la región. Además de su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, la *Sesbania* puede contribuir a la sostenibilidad del agroecosistema mediante la mejora de la estructura del suelo, el control de malezas y el aumento de la biodiversidad.

Este estudio busca proporcionar evidencia empírica sobre la viabilidad de esta práctica en Guasave, Sinaloa, y explorar su potencial para optimizar la producción de maíz pigmentado, promoviendo al mismo tiempo una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Asimismo, pretende definir el nivel de impacto económico que podría significar su implementación de este cultivo de cobertura en la economía de los agricultores y su rentabilidad.

7. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El cultivo de maíces nativos en Sinaloa enfrenta serios desafíos debido a la degradación y empobrecimiento del suelo agrícola. Los maíces nativos son variedades tradicionales que poseen una importante diversidad genética, adaptadas a las condiciones locales y esenciales para la seguridad alimentaria, la cultura y la economía rural. Sin embargo, en los últimos años, la intensificación agrícola, el uso excesivo de fertilizantes químicos y prácticas no sostenibles han provocado una disminución significativa en la calidad del suelo, reduciendo su capacidad para suministrar nutrientes esenciales a los cultivos.

La falta de nutrientes en el suelo, como nitrógeno, fósforo y potasio, afecta directamente el rendimiento y la calidad del maíz nativo, lo que pone en riesgo su conservación y el sustento de las comunidades agrícolas que dependen de estos cultivos. A pesar de su importancia cultural y ecológica, las políticas agrícolas en la región han priorizado el uso de variedades híbridas y transgénicas, dejando de lado el desarrollo de estrategias sostenibles para preservar y mejorar la productividad de los maíces nativos.

Esta problemática se agrava por la falta de estudios específicos que analicen la relación entre la calidad del suelo y el rendimiento de los maíces nativos en Sinaloa. Es necesario generar información científica que permita desarrollar prácticas agrícolas sostenibles, como la incorporación de abonos orgánicos, rotación de cultivos y técnicas agroecológicas, para restaurar la fertilidad del suelo y garantizar la viabilidad de estos cultivos en el largo plazo.

Por tanto, el presente trabajo de investigación busca abordar la pregunta: ¿Cómo afecta la falta de nutrientes del suelo al desarrollo y productividad de los maíces nativos en Sinaloa, y qué estrategias sostenibles pueden implementarse para mejorar esta situación? Este estudio tiene como objetivo generar conocimiento que no solo contribuya a la conservación de los maíces nativos, sino que también beneficie a las comunidades agrícolas y al medio ambiente.

8. JUSTIFICACIÓN.

La sostenibilidad agrícola es un desafío global y una prioridad en México, especialmente en zonas agrícolas intensivas como Guasave, Sinaloa. Este municipio destaca por su producción de maíz, en particular de variedades nativas como el maíz azul, que tiene un gran valor cultural y comercial. Sin embargo, la producción de maíz enfrenta problemas de fertilidad del suelo debido al uso excesivo de fertilizantes químicos, que deterioran la calidad del suelo a largo plazo y aumentan la dependencia de insumos externos. En este contexto, explorar el uso de plantas como *Sesbania grandiflora* para mejorar la nutrición de los suelos agrícolas es una alternativa prometedora y necesaria. Este ensayo argumenta que el estudio del potencial de *Sesbania* en Guasave podría ofrecer beneficios sustanciales para la fertilidad del suelo, reducir la dependencia de fertilizantes químicos y mejorar la producción de maíz en esta región.

En primer lugar, *Sesbania grandiflora* es una planta de la familia Fabaceae, conocida por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en el suelo a través de simbiosis con bacterias rizobiales. Esta capacidad convierte a la *Sesbania* en una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos, ya que el nitrógeno es un nutriente clave en la producción de cultivos como el maíz (Valenzuela-Solís *et al.*, 2020). La fertilización con plantas fijadoras de nitrógeno no solo mejora la calidad del suelo, sino que también reduce los costos asociados con los fertilizantes comerciales, lo que beneficia económicamente a los agricultores y contribuye a una agricultura más sostenible.

Además, la incorporación de *Sesbania* en sistemas de cultivo de maíz podría mejorar la estructura del suelo y aumentar su capacidad de retención de agua, un aspecto crucial para regiones semiáridas como Sinaloa (González-Moreno *et al.*, 2018). La mejora en la estructura del suelo también promueve una mayor actividad microbiológica, lo cual es esencial para mantener la salud del suelo y prevenir la erosión y compactación causadas por el uso intensivo de maquinaria agrícola. Este tipo de prácticas agroecológicas pueden contribuir a un manejo más regenerativo de los suelos en Guasave, promoviendo un equilibrio natural en el ecosistema agrícola.

Estudios recientes sugieren que el uso de *Sesbania* como abono verde puede incrementar los rendimientos de maíz debido a la liberación gradual de nutrientes, evitando el exceso de nitrógeno en el suelo y favoreciendo una nutrición más balanceada (Ortega-Pérez & Hernández-Corral, 2019). Esto es especialmente relevante en Guasave, donde la producción de maíz azul, una variedad rica en antioxidantes y con un alto valor en el mercado, podría beneficiarse al contar con un suelo más rico en nutrientes, lo que impactaría positivamente en la calidad del grano (Jiménez-Esquivel *et al.*, 2019).

Por otra parte, la implementación de sistemas de rotación de cultivos con plantas como *Sesbania* puede ser una estrategia eficaz para la recuperación de suelos degradados y reducir la dependencia de insumos externos. Este enfoque no solo mejora la fertilidad, sino que también promueve la biodiversidad del suelo al incluir diferentes especies de plantas, lo que puede ayudar a controlar plagas y enfermedades de forma natural (Martínez-Guzmán, 2021). Además, el uso de *Sesbania* como biofertilizante es compatible con prácticas de agricultura orgánica, lo cual podría abrir oportunidades de mercado para productos de maíz azul orgánico, altamente demandado por su calidad y valor agregado.

Por lo tanto, el estudio del potencial de *Sesbania grandiflora* en la fertilización de suelos agrícolas de Guasave representa una alternativa viable y beneficiosa para mejorar la producción de maíz. Esta planta tiene la capacidad de enriquecer el suelo con nitrógeno de manera natural, mejorar la estructura y microbiología del suelo, y reducir los costos asociados a fertilizantes químicos. La implementación de *Sesbania* en sistemas de cultivo de maíz no solo sería una estrategia más ecológica, sino que también podría impulsar la producción de maíz azul de alta calidad, beneficiando tanto a los agricultores como al ecosistema agrícola de la región.

9. HIPÓTESIS.

“Si establecemos eficientemente un cultivo de *Sesbania grandiflora* previo a la siembra de maíz azul, se cubriría al menos un 30% de los requerimientos totales de nitrógeno de dicho cultivo y el productor tendrá un beneficio económico.”

10.OBJETIVOS.

10.1 General.

Evaluar el potencial de *Sesbania grandiflora* como biofertilizante para mejorar la fertilidad del suelo en cultivos de maíz azul en Guasave, Sinaloa, contribuyendo a una agricultura más sostenible.

10.2 Específicos.

1. Determinar la riqueza nutricional de un suelo agrícola mediante un análisis de suelo
2. Establecer de manera exitosa un cultivo de sesbania en este campo y llevarlo a término.
3. Analizar el efecto de este cultivo en el suelo por medio de otro análisis de fertilidad y comparar esos resultados con los requerimientos de maíz azul.

11. MARCO TEÓRICO

Guasave, ubicado en el estado de Sinaloa, México, cuenta con un clima semicálido seco o semiárido cálido, típico de las regiones costeras del noroeste mexicano. Las temperaturas promedio anuales oscilan entre 24 °C y 26 °C, con máximas que pueden superar los 40 °C durante el verano y mínimas que bajan a 10 °C en invierno. Las precipitaciones son estacionales, concentrándose principalmente entre los meses de junio y septiembre, durante la temporada de lluvias, con un promedio anual de 400 a 600 mm.

El municipio se encuentra en una zona de suelo fértil y con buen acceso a agua para riego, gracias a su ubicación en el valle del río Sinaloa y la infraestructura hidráulica, como canales y presas. Esto lo convierte en un área propicia para la agricultura de riego, favoreciendo cultivos como maíz, trigo, frijol, garbanzo, sorgo, y hortalizas.



Figura 1. Municipio de Guasave, Sinaloa.

La *Sesbania* es un género de plantas perteneciente a la familia Fabaceae, conocida comúnmente como leguminosas. Este género incluye aproximadamente 50 especies distribuidas principalmente en regiones tropicales y subtropicales del mundo. Estas plantas son reconocidas por su adaptabilidad, sus aplicaciones ecológicas y económicas, así como su rol en la agricultura sostenible.



Figura 2. Planta e inflorescencia de la Sesbania.

Las especies de *Sesbania* spp. son plantas que varían desde arbustos pequeños hasta árboles de tamaño mediano, alcanzando alturas de entre 1 y 8 metros dependiendo de la especie y las condiciones ambientales. Sus hojas son compuestas, pinnadas, y poseen un color verde brillante. Las flores, de tonalidades amarillas, anaranjadas o rojizas, están agrupadas en racimos axilares, lo que las hace llamativas para los polinizadores (Kumar & Gupta, 2020).

El fruto es una vaina alargada y delgada que contiene múltiples semillas de forma ovalada. Las semillas tienen un alto contenido de proteínas y son utilizadas en diversas aplicaciones, incluyendo la alimentación animal. Como parte de la familia Fabaceae, estas plantas tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en el suelo mediante una asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*, lo que mejora la fertilidad del suelo (Guiller, 2001).



Figura 3. Raíces de planta de sesbania con nódulos formados por bacterias simbiotes.

11.1 Hábitos de Crecimiento

Las especies de *Sesbania* spp. son extremadamente versátiles en cuanto a sus hábitos de crecimiento. Pueden prosperar en una variedad de condiciones, desde suelos aluviales ricos en nutrientes hasta terrenos degradados y pantanosos. Toleran tanto periodos de sequía como de inundación, lo que las hace ideales para zonas propensas a condiciones climáticas extremas (Sharma *et al.*, 2021) como las que inciden en la región de Guasave.

El crecimiento rápido es una característica distintiva de estas plantas. En condiciones óptimas, algunas especies pueden alcanzar su tamaño máximo en tan solo unos pocos meses, lo que las convierte en una opción popular para sistemas agroforestales y como cultivos de cobertura. Además, su sistema radicular es profundo, ayudando a prevenir la erosión del suelo y facilitando la infiltración de agua (Kumar *et al.*, 2020).

11.2 Importancia Ecológica

Desde una perspectiva ecológica, las especies de *Sesbania* spp. desempeñan un papel crucial en la mejora de la calidad del suelo y la restauración de ecosistemas degradados.

Su capacidad para fijar nitrógeno contribuye a enriquecer el contenido orgánico del suelo, beneficiando tanto a las plantas vecinas como a los microorganismos del ecosistema.

Asimismo, estas plantas proporcionan hábitat y alimento a diversas especies de fauna silvestre. Sus flores atraen abejas, mariposas y otros insectos polinizadores, mientras que las semillas y hojas sirven como fuente de alimento para aves y animales herbívoros (Singh & Meena, 2022).

En zonas costeras y humedales, las especies de *Sesbania* spp. ayudan a estabilizar los suelos y a prevenir la salinización. También son utilizadas en programas de reforestación y como parte de estrategias para mitigar el impacto del cambio climático debido a su capacidad de almacenar carbono (Sharma *et al.*, 2021).

11.3 Importancia Económica

Desde el punto de vista económico, las especies de *Sesbania* spp. ofrecen múltiples usos. Sus semillas son utilizadas para la producción de aceites, biocombustibles y como materia prima para la fabricación de adhesivos. Las fibras extraídas de los tallos son empleadas en la elaboración de papel y cuerdas.

Además, las hojas y semillas son un recurso valioso en la alimentación animal, especialmente en sistemas de producción ganadera de bajos insumos. En algunas culturas, las flores también se consumen como alimento humano, ya sea en sopas o fritas, debido a su alto contenido nutritivo (Kumar *et al.*, 2020).

11.4 Importancia Agrícola

En la agricultura, *Sesbania* spp. se utiliza principalmente como cultivo de cobertura y abono verde. Su rápido crecimiento y capacidad para fijar nitrógeno mejoran la estructura y fertilidad del suelo, reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos.

Estas plantas también actúan como bioplaguicidas naturales. Algunos compuestos presentes en sus hojas y tallos tienen propiedades alelopáticas que inhiben el crecimiento de malezas y reducen las poblaciones de insectos plaga. En sistemas

agroforestales, se siembran junto a cultivos principales para proporcionar sombra, evitar la erosión del suelo y aumentar la biodiversidad (Singh & Meena, 2022).

La *Sesbania* spp. es una planta de gran relevancia en el ámbito ecológico, económico y agrícola. Su adaptabilidad a diversas condiciones ambientales, combinada con sus múltiples aplicaciones, la convierten en un recurso invaluable para la agricultura sostenible y la conservación de ecosistemas. A medida que enfrentamos retos globales como el cambio climático y la degradación del suelo, el papel de plantas como la *Sesbania* se vuelve aún más crucial para garantizar la seguridad alimentaria y la salud ambiental.

11.5 El maíz en Sinaloa.

El maíz (*Zea mays*) es un componente fundamental en la economía, la cultura y la alimentación de Sinaloa. Este estado, ubicado en el noroeste de México, se destaca como uno de los principales productores de maíz del país, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria y al bienestar económico de su población, culturalmente se denomina a Guasave el “Corazón agrícola de México”.

Sinaloa es uno de los líderes en la producción agrícola de México, y el maíz es el cultivo al que más superficie se destina. Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024), Sinaloa produjo aproximadamente 6.5 millones de toneladas de maíz blanco en el ciclo agrícola 2022-2023, representando cerca del 30% de la producción nacional de este grano. Esta cifra no solo refleja la magnitud de la producción, sino también su impacto económico, ya que el maíz genera empleo y sustento para miles de agricultores y sus familias. La agricultura, y en particular el cultivo de maíz, es una fuente clave de ingresos y estabilidad económica en la región.

El maíz no solo es crucial desde una perspectiva económica, sino también para la seguridad alimentaria de la población de Sinaloa. Este cereal es un alimento básico en la dieta de los sinaloenses, proporcionando una fuente importante de calorías y nutrientes esenciales. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020), el consumo per cápita de maíz en México es de aproximadamente 197

kg al año, lo que subraya su importancia en la alimentación diaria. En Sinaloa, donde la producción de maíz es abundante, este cereal es accesible y asequible para la mayoría de la población, contribuyendo así a la reducción de la inseguridad alimentaria y mejorando la calidad de vida de los habitantes.

El maíz también tiene un profundo significado cultural en Sinaloa. Este grano ha sido cultivado en la región durante siglos y es parte integral de la identidad y las tradiciones locales. Las festividades, la gastronomía y las prácticas agrícolas están estrechamente ligadas al ciclo del maíz. Promover y preservar las variedades locales de maíz no solo tiene beneficios económicos y nutricionales, sino que también ayuda a mantener viva la cultura y las tradiciones de Sinaloa.

El maíz es de vital importancia para la población de Sinaloa debido a su impacto económico, su papel crucial en la seguridad alimentaria y su significado cultural. Las estadísticas gubernamentales del SIAP y del INEGI confirman la relevancia de este cultivo en la región. Es esencial continuar apoyando la producción de maíz en Sinaloa para asegurar la prosperidad económica, la seguridad alimentaria y la preservación del patrimonio cultural.

La producción de maíz en Sinaloa, una de las principales regiones agrícolas de México, enfrenta numerosos desafíos que amenazan su sostenibilidad y rentabilidad. Entre los problemas más críticos se encuentran los estragos de la sequía, el cambio climático y la degradación de los suelos. Estos factores han llevado a una disminución en la productividad y han incrementado la vulnerabilidad de los agricultores locales.

La sequía es uno de los problemas más preocupantes para los productores de maíz en Sinaloa. La región ha experimentado periodos prolongados de escasez de agua, lo que ha afectado gravemente las cosechas. Según datos del servicio meteorológico nacional (SMN, 2024), las precipitaciones han disminuido significativamente en los últimos años, reduciendo la disponibilidad de agua para el riego y afectando el crecimiento del maíz. La sequía no solo reduce el rendimiento de los cultivos, sino que también aumenta los costos de producción debido a la necesidad de sistemas de riego más eficientes y costosos.

El cambio climático induce las condiciones de sequía y añade incertidumbre a las prácticas agrícolas. Las variaciones en las temperaturas y los patrones de lluvia alteran los ciclos de cultivo y aumentan la incidencia de plagas y enfermedades. Investigaciones indican que el cambio climático podría reducir la productividad del maíz en México hasta en un 30% en las próximas décadas si no se adoptan medidas de adaptación (Lobell *et al.*, 2011). En Sinaloa, los agricultores ya están sintiendo los efectos de estos cambios, con fluctuaciones en las temporadas de cultivo y la necesidad de adaptar sus prácticas a condiciones cada vez más impredecibles.

La degradación del suelo es otro problema crítico que afecta la producción de maíz en Sinaloa. La sobreexplotación agrícola y el uso intensivo de fertilizantes químicos han llevado a la pérdida de fertilidad del suelo, disminuyendo su capacidad para sostener cultivos saludables. Estudios muestran que los suelos en Sinaloa presentan niveles alarmantes de salinización y erosión, lo que compromete aún más la productividad agrícola (Martínez *et al.*, 2019). Los agricultores enfrentan el desafío de restaurar la salud del suelo mediante prácticas agrícolas sostenibles, lo cual requiere inversión y capacitación.

Para enfrentar estos desafíos, es crucial que los agricultores de Sinaloa adopten estrategias de adaptación y mitigación. La implementación de técnicas de agricultura de conservación, como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la siembra directa, puede ayudar a mejorar la salud del suelo y reducir la dependencia de insumos químicos. Además, la adopción de variedades de maíz resistentes a la sequía y a las altas temperaturas puede mejorar la resiliencia de los cultivos frente al cambio climático (Ortiz *et al.*, 2018).

El apoyo gubernamental y la cooperación internacional son esenciales para proporcionar a los agricultores los recursos y el conocimiento necesarios para implementar estas prácticas. Programas de capacitación y subsidios para tecnologías de riego eficiente pueden marcar una diferencia significativa en la adaptación a las condiciones cambiantes.

11.6 El maíz azul.

Una de las alternativas propuestas para afrontar la baja rentabilidad de la producción de maíz en Sinaloa es optar por variedades de alto valor comercial por mercados específicos, ejemplo de ello es el maíz azul.

El maíz azul suele ser más caro que el maíz blanco debido a su producción limitada, ya que se cultiva en menores cantidades y, por lo tanto, es más exclusivo. Además, tiene un mayor valor nutricional gracias a su contenido elevado de antioxidantes (antocianinas), lo que lo hace atractivo para consumidores interesados en alimentos saludables. También tiene un significado cultural especial en países como México, donde se utiliza en platillos tradicionales, lo que incrementa su valor percibido. Con el auge de las tendencias de alimentación saludable y el interés por alimentos ancestrales, la demanda de maíz azul ha crecido, especialmente en mercados gourmet o internacionales. Por último, su producción puede ser más costosa debido a las condiciones específicas de cultivo o a la falta de adaptación a sistemas de producción a gran escala. Estas características lo posicionan como un producto premium que justifica su precio elevado (Rivera-González *et al.*, 2018).



Figura 4. Maíces azules sembrados en la región de Guasave

El alcance de un proyecto que evalúe el uso de *Sesbania grandiflora* como biofertilizante en los suelos agrícolas de Guasave, Sinaloa, abarcaría varias dimensiones clave que beneficiarían tanto a los agricultores locales como al ecosistema agrícola en general.

El proyecto se centraría en la aplicación de *Sesbania grandiflora* en los suelos de cultivo de maíz azul criollo para analizar su potencial como fuente natural de nutrientes. Se incluirían experimentos de campo para comparar su efectividad.

A largo plazo, el uso de *Sesbania* podría reducir los costos de producción para los agricultores al disminuir la dependencia de fertilizantes sintéticos, que suelen representar un gasto significativo. Además, un enfoque sostenible en la producción de maíz azul podría abrir oportunidades para la comercialización de este producto como "orgánico" o "ecológico", lo cual tiene un valor agregado en el mercado nacional e internacional mejorando su rentabilidad.

Este proyecto podría contribuir a la regeneración y sostenibilidad de los suelos en Guasave, mitigando los efectos negativos del uso de productos químicos. Al enriquecer el suelo de manera natural y promover una mayor biodiversidad, *Sesbania grandiflora* favorecería el equilibrio ecológico y la resiliencia del suelo contra procesos de degradación como la erosión y la pérdida de nutrientes.

Promover la siembra de maíz azul en suelos mejorados naturalmente también tendría un impacto positivo en la conservación de esta variedad nativa y en el fortalecimiento de las tradiciones locales. Además, los agricultores podrían adoptar prácticas agroecológicas con un enfoque más sostenible, fomentando una conciencia ambiental y agrícola en la comunidad.

En conjunto, el proyecto podría sentar las bases para un modelo de agricultura más sostenible en la región, sirviendo como ejemplo para otras áreas de México que enfrentan problemas similares de degradación de suelos y altos costos de insumos.

12. MATERIALES Y MÉTODOS.

12.1 Análisis de fertilidad

Para determinar el potencial de Sesbania para incrementar la riqueza de nitrógeno en un suelo agrícola específico primeramente se designó una parcela agrícola experimental en la localidad de Guasave, Sinaloa, México.

Una vez definida el área se procedió a realizar un análisis de fertilidad de suelo siguiendo los pasos que aquí se enumeran:

1. Identificación de la zona de muestreo

Se identificaron las parcelas o áreas específicas del suelo agrícola que requerían análisis, considerando factores como el tipo de cultivo, características del terreno y antecedentes de manejo agrícola.

2. Preparación de herramientas y materiales

Se recopilaron los materiales necesarios, como una barrena, pala, bolsas de plástico etiquetadas, un balde limpio, marcadores y guantes. Además, se verificaron los equipos para garantizar su funcionalidad.

3. Definición de los puntos de muestreo

Se establecieron puntos representativos de muestreo en la parcela, siguiendo un patrón sistemático (cinco de oros) para asegurar la representatividad de las muestras del suelo.

4. Recolección de las muestras de suelo

En cada punto definido, se recolectaron muestras de suelo a una profundidad de 30 cm, utilizando la pala. De entre 150 a 200 gramos por cada submuestra Las muestras se colocaron en una bolsa de papel limpia.

5. Mezcla y homogenización de las muestras

Se mezclaron las submuestras recolectadas de todos los puntos para obtener una muestra compuesta representativa del área. Luego, se tomó una porción de esta

mezcla y se colocó en una bolsa etiquetada con los datos del muestreo (ubicación, fecha, y profundidad).

6. Secado de las muestras.

Las muestras se secaron al aire en un lugar limpio y sombreado para evitar contaminación o alteraciones en las propiedades químicas.

7. Envío al laboratorio.

Las muestras se enviaron al laboratorio de análisis de suelos.

8. Análisis en laboratorio

En el laboratorio, las muestras se procesaron mediante técnicas específicas para determinar los parámetros físico-químicos del suelo. Se emplearon equipos especializados como espectrofotómetros, potenciómetros y otros instrumentos según los análisis requeridos.

9. Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos en el laboratorio se interpretaron con base en tablas de referencia o estándares específicos para identificar las deficiencias o excesos de nutrientes en el suelo.

Esta metodología aseguró un análisis preciso y representativo de la calidad del suelo agrícola en la parcela estudiada.



Figura 5. Toma de muestra para análisis de fertilidad de suelos

12.2 Establecimiento de cultivo

Una vez que se llevó a cabo un análisis del suelo para determinar la fertilidad y las necesidades de nutrientes del suelo. Con base en los resultados, se procedió a establecer un cultivo de *Sesbania grandiflora* para conocer su capacidad para mejorar las condiciones nutricionales del suelo. Los pasos para este objetivo se describen a continuación:

1. Elección de la semilla y tratamiento previo

Se seleccionaron semillas de *Sesbania grandiflora* de alta calidad y certificadas, asegurándose de que fueran aptas para las condiciones locales. Antes de la siembra, se trataron las semillas con inoculantes para mejorar la fijación de nitrógeno en el suelo y protegerlas contra plagas y enfermedades.

2. Calibración de la sembradora de precisión

La sembradora de precisión se calibró cuidadosamente para garantizar una distribución uniforme de las semillas. Esto significó realizar ajustes en la profundidad de siembra, el espaciamiento entre semillas y la velocidad de avance, según las

especificaciones del cultivo, para esta evaluación se depositaron 10 KG por hectárea, con una densidad de población de 22 plantas por metro aproximadamente.

3. Carga de la sembradora

Se llenaron los compartimentos de la sembradora con las semillas tratadas, verificando que los conductos y discos estuvieran limpios y en buenas condiciones para evitar obstrucciones durante la operación.

4. Siembra de las semillas

Se realizó la siembra con la sembradora de precisión, asegurando que las semillas fueran depositadas a la profundidad óptima (generalmente de 2 a 3 cm) y con un espaciamiento adecuado, según el diseño de siembra planificado. El equipo se desplazó uniformemente sobre el terreno, siguiendo los surcos previamente elaborados, la población total fue de 300,000 plantas por hectárea.

5. Riegos

Después de la siembra, se mantuvo la humedad del suelo solo con agua de lluvia, es decir en un sistema de temporal.

6. Monitoreo del establecimiento del cultivo

Durante las semanas posteriores a la siembra, se monitoreó la emergencia de las plántulas para evaluar el porcentaje de germinación y detectar posibles problemas, como plagas, enfermedades o malezas.

7. Control de malezas y manejo inicial

Se llevaron a cabo labores de control de malezas mediante deshierbe manual o mecánico. También se aplicaron fertilizantes adicionales si fue necesario, basándose en el estado de las plantas y los análisis del suelo.

8. Mantenimiento del cultivo

Finalmente, se implementaron prácticas regulares de manejo, como riegos complementarios y monitoreo continuo, para garantizar el desarrollo saludable del cultivo de sesbania y su éxito en el ciclo productivo.



Figura 6. Establecimiento y manejo de cultivo de sesbania en campo.

12.3 Estudio de viabilidad económica

Una vez el cultivo llegó a madurez fisiológica se retiró del campo con maquinaria y se repitió de nuevo el procedimiento de análisis de suelo para conocer en que concentración se incrementó la riqueza de nitrógeno en el suelo. Estos datos se compararon con los requerimientos de maíz azul para definir el potencial nutricional de esta práctica agronómica.

Para convertir los valores de ppm a KG por hectárea se utilizó la fórmula:

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ mg}}{\text{Kg}}$$

Conociendo esta equivalencia se realizó una conversión de unidades de los valores encontrados en cada análisis de suelo, prestando especial atención en los nitratos (NO_3) que son la forma molecular que el nitrógeno se determina en el análisis de suelo. Para ello se determinó el peso de una hectárea haciendo la conversión de los valores de densidad del suelo y el volumen de una hectárea. Con esta información comparamos directamente los niveles de nitrato de la muestra posterior al cultivo con la muestra previa, obteniendo el nitrógeno aportado por la planta de sesbania en el suelo.

Este valor nutrimental del suelo se convirtió a nitrógeno elemental utilizando el siguiente factor de conversión:

<i>Para transformar</i>		<i>a</i>	<i>Multiplicar por</i>
NO_3		N	0.226

Con esto obtuvimos la cantidad real de nitrógeno aportado al suelo en forma elemental, para convertirlo a su equivalencia en fertilizantes se multiplicó la riqueza nutrimental de cada fertilizante y se convirtió al contenido adicionado por la sesbania al suelo (tabla 2)

Se consultaron bases de datos de registros históricos de precio de los principales fertilizantes que aportan nitrógeno al suelo para conocer la volatilidad de los insumos agrícolas más importantes para los productores locales (tabla 3). Y con los valores actuales, se seleccionó el costo por tonelada de urea, para por medio de conversión de unidades obtener la equivalencia monetaria del nitrógeno aportado por la sesbania en pesos mexicanos (MXN) por hectárea, de esa manera calcular el porcentaje de beneficio económico al agricultor.

En el mismo sentido se revisó los reportes gubernamentales de costo de producción de maíz en la zona norte de Sinaloa para así encontrar en que porcentaje el cultivo de sesbania reduce los costos de producción del agricultor y si existe beneficio económico real al mismo comparando los costos de producción de sesbania con el beneficio monetario de la cantidad de nitrógeno aportado al suelo.

Por último, se investigó el costo de venta de maíz criollo azul para así encontrar el rendimiento que le brinde a los productores un punto de equilibrio en su sistema productivo.

13. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

13.1 Análisis nutricional.

Los resultados de los análisis de suelo se muestran a continuación:

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
(CIIDIR). UNIDAD SINALOA



LABORATORIO DE NUTRICIÓN VEGETAL
SERVICIO No. SP-2024-NS No. DE MUESTRAS 1 FECHA: 16-07-24
Tipo de muestra: Suelo Agrícola
Propietario: RODOLFO CABANILLAS
Ejido: DORADO 1, GUASAVE
Cultivo anterior: SIN CULTIVO

Cultivo a sembrar: SESBANIA

LOTE 1

Análisis	Resultados	Referencia
Potencial Hidrogeno: pH	7.6	6.6- 7.3 Neutro
Conductividad Eléctrica: CE (mmhos/cm)	0.10	< 2.0 (salinidad despreciable)
Materia Orgánica: % MO	1.20	<1.5 (bajo)
Nitratos: NO3 (ppm)	50	alto
Fosforo: Olsen P (mg/Kg)	10.70	<10 (bajo)

LOTE 2

Análisis	Resultados	Referencia
Potencial Hidrogeno: pH	7.3	6.6- 7.3 Neutro
Conductividad Eléctrica: CE (mmhos/cm)	0.15	< 2.0 (salinidad despreciable)
Materia Orgánica: % MO	1.25	<1.5 (bajo)
Nitratos: NO3 (ppm)	100	alto
Fosforo: Olsen P (mg/Kg)	15.70	<10 (bajo)


Dr. Adolfo D. Armenta Bojórquez
Boulevard Juan de Dios Batiz Paredes # 200 Apdo. postal 2801

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
(CIIDIR). UNIDAD SINALOA



LABORATORIO DE NUTRICIÓN VEGETAL
SERVICIO No. SP-2024-NS No. DE MUESTRAS 1 FECHA: 16-DICIEMBRE-2024
Tipo de muestra: Suelo Agrícola
Propietario: RODOLFO CABANILLAS
Ejido: DORADO 1, GUASAVE
Cultivo anterior: SIN CULTIVO

Cultivo a sembrar: SESBANIA

LOTE 1

Análisis	Resultados	Referencia
Potencial Hidrogeno: pH	7.3	6.6- 7.3 Neutro
Conductividad Eléctrica: CE (mmhos/cm)	0.10	< 2.0 (salinidad despreciable)
Materia Orgánica: % MO	1.70	<1.5 (bajo)
Nitratos: NO3 (ppm)	250	alto
Fosforo: Olsen P (mg/Kg)	10.70	<10 (bajo)

LOTE 2

Análisis	Resultados	Referencia
Potencial Hidrogeno: pH	7.0	6.6- 7.3 Neutro
Conductividad Eléctrica: CE (mmhos/cm)	0.15	< 2.0 (salinidad despreciable)
Materia Orgánica: % MO	1.75	<1.5 (bajo)
Nitratos: NO3 (ppm)	300	alto
Fosforo: Olsen P (mg/Kg)	15.70	<10 (bajo)


Dr. Adolfo D. Armenta Bojórquez
Boulevard Juan de Dios Batiz Paredes # 200 Apdo. postal 2801

Figura 7. Análisis de suelo antes y después de establecer la sesbania

En dicho análisis podemos encontrar, primeramente, que el pH del suelo se redujo un poco de 7.6 a 7.3 es decir se acidificó el suelo ligeramente. Situación que no ocurrió con la conductividad eléctrica, que se mantuvo en el mismo nivel, en la revisión previa y en la consecutiva después del cultivo.

Otro parámetro de gran importancia que incrementó su concentración con el cultivo de sesbania fue la materia orgánica en el suelo, que pasó de 1.2 % a 1.7%. resultados que concuerdan con los publicados por Wu y colaboradores en 2024 en este estudio examinó los efectos de la rotación de Sesbania y sorgo en suelos fuertemente salino-alcalinos. Los hallazgos mostraron que el cultivo de Sesbania no solo redujo el pH del suelo y el

contenido de sales solubles, sino que también aumentó significativamente la materia orgánica del suelo y mejoró la estructura de la población microbiana, indicando su potencial para mejorar la calidad de suelos degradados

También se observó un cambio significativo en lo que respecta a la riqueza nutricional de nitrógeno en el suelo, en este caso en forma de nitrato. Podemos observar que gracias al cultivo de sesbania establecidas en campo se incrementó el contenido de nitrato en el suelo de 100 partes por millón (ppm) a 300 ppm, es decir se triplicó la concentración de este nutriente, lo que demuestra que efectivamente sirve para este fin.

Estos resultados coinciden con los publicados por Kumar, V., & Goh, K. M. (2018), en este estudio revisaron el impacto de diferentes abonos verdes, incluyendo Sesbania, en la fertilidad del suelo y el rendimiento de cultivos en ecosistemas tropicales. Los autores concluyen que la incorporación de Sesbania como abono verde mejora significativamente el contenido de materia orgánica y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, lo que se traduce en incrementos notables en el rendimiento de cultivos posteriores.

También corroboran los publicados por Patra, A. K y colaboradores en 2016 con su experimento de campo evaluaron el efecto del abonado verde con Sesbania y la fertilización nitrogenada en la salud del suelo y la productividad del arroz en suelos lateríticos. Los resultados mostraron que la incorporación de Sesbania mejoró la actividad microbiana del suelo y aumentó la disponibilidad de nutrientes, lo que resultó en un rendimiento superior del arroz en comparación con parcelas que no recibieron el abono verde.

De la misma manera coincide con el trabajo de Singh, G., & Singh, O. P. (2015) ellos en su estudio investigaron el impacto del abonado verde con Sesbania en las propiedades del suelo y el rendimiento del trigo en un sistema de cultivo arroz-trigo. Los hallazgos indicaron que la práctica de incorporar Sesbania como abono verde aumentó significativamente el contenido de nitrógeno y materia orgánica en el suelo, mejorando la estructura del suelo y conduciendo a un aumento en el rendimiento del trigo.

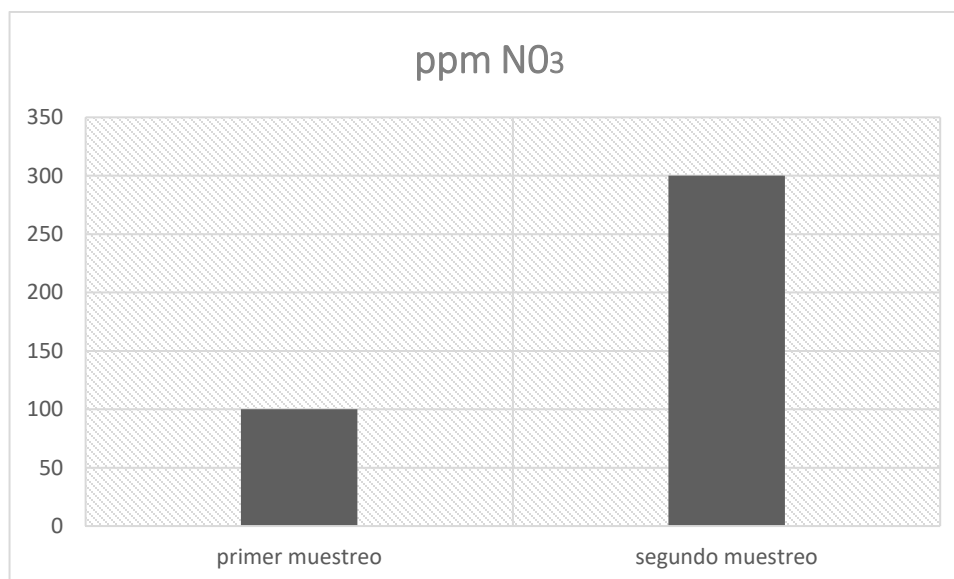


Figura 8. Gráfica de incremento en la concentración de nitrato en el suelo

Si consideramos el incremento de nitrato en el suelo la planta de sesbania incrementa 200 ppm la riqueza de este elemento por hectárea. Dado que el suelo donde se realizó este estudio se trata de un suelo franco arcilloso eso se traduce en 780 kilogramos por hectárea de nitrato, que es equivalente a 176 kilogramos por hectárea del elemento nitrógeno.

Tabla 1. Conversión de kilos de nitrógeno a su equivalente en fertilizantes.

Equivalencia de kilogramos de nitrógeno a diferentes fuentes de fertilizante

176 kilogramos	Nitrógeno
383 kilogramos	Urea
838 kilogramos	Sulfato de amonio
214 kilogramos	Amoniaco anhidro

Esto quiere decir que establecer la planta de sesbania aportó en nuestro experimento de campo al suelo una concentración equivalente a 383 kilogramos de urea, o 838 kilogramos de sulfato de amonio, o 214 kilogramos de amoniaco, que son los fertilizantes más utilizados en la región de Guasave que aportan nitrógeno.

De acuerdo al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, una hectárea de Maíz requiere para un rendimiento proyectado de 10 toneladas por hectárea una cantidad total de 250-300 kilogramos del elemento nitrógeno. Por lo tanto, establecer la sesbania antes de sembrar maíz, permitiría a los agricultores un ahorro de nitrógeno de un 58%. En consecuencia, el agricultor en lugar de aportar 300 kilogramos de nitrógeno por hectárea solo debería aportar 124 kilogramos.

Esto representa un beneficio económico directo al agricultor, pero también un beneficio agroecológico sustancial para su parcela y el medio ambiente en general.

13.2 Análisis económico

A continuación, observamos una tabla con los precios promedio por tonelada de los fertilizantes urea, amoniaco y sulfato de amonio en Sinaloa durante los últimos cinco años. Es importante destacar que los precios de los fertilizantes han experimentado fluctuaciones significativas debido a factores como la demanda global, los costos de producción y las condiciones del mercado internacional.

Tabla 2. Costo al productor promedio de los fertilizantes nitrogenados en Sinaloa (elaboración propia datos, FIRA 2024)

Año	Urea (MXN/ton)	Amoniaco (MXN/ton)	Sulfato de Amonio (MXN/ton)
2020	7,000 - 8,000	7,000 - 8,000	5,000 - 6,000
2021	12,100	18,500	5,700
2022	25,000	25,000	10,000
2023	12,100	18,500	5,700
2024	10,500	18,500	4,700

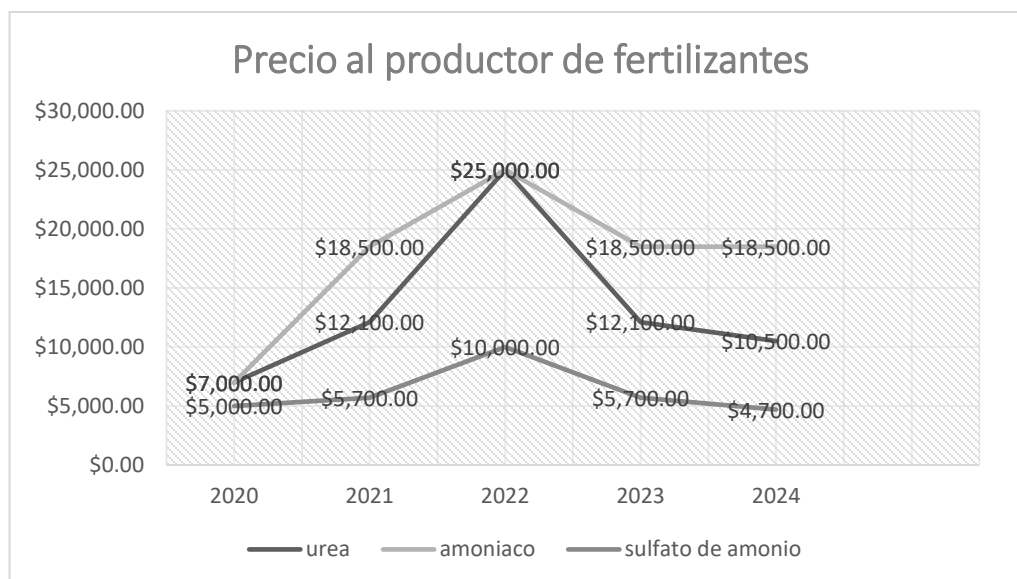


Figura 9. Evolución de precio de fertilizantes en Sinaloa (elaboración propia datos, FIRA, 2024)

En el siguiente gráfico podemos visualizar como las fuentes nitrogenadas de fertilizante al estar sujetas a las leyes del mercado sufren de cambios significativos en su valor causados por la oferta y la demanda de los mismos, sumado a esto los costos de transporte y distribución.

De esta manera 250-300 kilogramos de nitrógeno que requiere el maíz durante todo su ciclo productivo (INIFAP, 2020) al presente representaría un costo al productor de \$6,847 MXN por hectárea si se utiliza como fuente de fertilizante la urea. Si como se mostró en base a nuestros análisis de suelo se establece un cultivo de sesbania previo a la siembra de maíz, el productor recibiría un beneficio económico equivalente a \$4,017 MXN que es igual al 58% de la inversión total en fertilizante urea.

Tomando en cuenta los costos de producir una hectárea de maíz en 2024 en Sinaloa según el sistema de costos agrícolas de FIRA (figura 7) se requiere \$41,879 MXN por hectárea de inversión, el beneficio nutricional de la sesbania equivale al 9.6% del costo total de producción y 38% de la inversión en fertilizantes.

Concepto	Costos				Desglose mensual de los costos financieros											
	Finan.	No finan.	Total	Jomales	Sep-2024	Oct-2024	Nov-2024	Dic-2024	Ene-2025	Feb-2025	Mar-2025	Abr-2025	May-2025	Jun-2025	Jul-2025	Ago-2025
PREPARACIÓN DEL TERRENO	\$3,187	\$504	\$3,692	0.53	\$2,430	\$757	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
SIEMBRA	\$10,773	\$140	\$10,913	0.30	\$0	\$10,773	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
FERTILIZACIÓN	\$10,572	\$88	\$10,660	0.06	\$0	\$5,391	\$0	\$2,591	\$0	\$2,591	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
LABORES CULTURALES	\$1,085	\$145	\$1,230	0.17	\$0	\$0	\$849	\$237	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
RIEGOS	\$3,358	\$0	\$3,358	2.50	\$0	\$2,858	\$0	\$125	\$0	\$125	\$125	\$125	\$0	\$0	\$0	\$0
CONTROL DE PLAGAS, MALEZAS Y ENF	\$1,432	\$136	\$1,568	0.10	\$0	\$0	\$0	\$0	\$748	\$684	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
COSECHA, SELECCIÓN Y EMPAQUE	\$4,037	\$31	\$4,068	0.05	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$4,037	\$0	\$0	\$0
COMERCIALIZACIÓN	\$4,548	\$0	\$4,548	0.00	\$0	\$0	\$3,108	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$1,440	\$0	\$0
DIVERSOS	\$2,886	\$900	\$3,786	0.00	\$0	\$2,361	\$425	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$100	\$0	\$0
Total:	\$41,879	\$1,945	\$43,823	3.70	\$2,430	\$22,141	\$4,382	\$2,952	\$748	\$3,400	\$125	\$125	\$5,577	\$0	\$0	\$0

Ministración	Fecha	Financiable	Hasta 160,000 UDIS					Mayor a 160,000 UDIS					Etapa	del	al
			Crédito	Aportación	Intereses	No Financ.	Total	Crédito	Aportación	Intereses	No Financ.	Total			
1	Sep-2024	\$28,953	\$26,057	\$2,895	\$4,716	\$846	\$34,515	\$23,162	\$5,791	\$4,192	\$846	\$33,991	Siembra	Oct - 2024	Dic - 2024
2	Dic-2024	\$7,100	\$6,390	\$710	\$866	\$167	\$8,613	\$5,680	\$1,420	\$770	\$167	\$8,036	Cosecha	Abr - 2025	Jul - 2025
3	Mar-2025	\$5,827	\$5,244	\$583	\$475	\$931	\$7,233	\$4,661	\$1,165	\$422	\$931	\$7,180	Vencimiento	2025-08-29	
		\$41,879	\$37,690	\$4,188	\$6,057	\$1,945	\$49,880	\$33,502	\$8,376	\$5,384	\$1,945	\$49,207	Rendim. Prob. (ton/ha)	12.00	
													Precio Prob. (\$/ton)	\$4,649	
													Ingreso Prob. (\$/ha)	\$55,793	
													Relación beneficio-costo	1.13	
													Costo total (\$)	\$49,207	
													Utilidad prob. (\$/ha)	\$6,586	
													Costo unitario (\$/ton)	\$4,101	
													Punto de equilibrio (ton/ha)	10.58	
													Producción (ton) para cubrir		
													Avío + Intereses	8.36	
													Costo directo	9.01	
													Ingresos por subsidios	\$0	

Comentarios:

- 1.- El agrocosto considera Maíz blanco grano con labranza tradicional, riego por gravedad y semillas mejorada.
 - 2.- La estimación del costo de producción contempla el uso de maquinaria agrícola y terrenos propios. El acreditado deberá cubrir con sus recursos los posibles incrementos inflacionarios y los costos adicionales que en su caso pudieran presentarse.
 - 3.- Para administrar riesgos implícitos en la actividad primaria, se incluyen recursos para la contratación de seguro agrícola a la inversión, así como para la contratación de cobertura de precio para maíz hasta 12 toneladas por \$259/ton.
 - 4.- El precio de venta estimado* es de \$4,649.40/ton se determinó con los precios de futuro diarios del maíz (commodity 177.2 usd/ton) con vencimiento a julio 2025 + Base Zona Productora estimada de 80 dólares. El tipo de cambio valuado fue por \$18.08/usd. (Estimación de forwards tipo de cambio promedio Banxico, para un periodo de 331 a 360 días)
 - 5.- El rendimiento estimado se derivó del promedio obtenido en las cosechas de los últimos 5 años reportados por el SIAP en Sinaloa.
 - 6.- Los precios de insumos y fertilizantes corresponden a las cotizaciones promedio realizadas al 11 julio de 2024.
- *El precio de venta estimado y proyectado en el presente agrocosto se alinea con los precios de futuro cotizados en bolsa y es con fines de estimación de ingresos, el mismo NO representa un criterio para la fijación de precios para la presente actividad.

Responsable de elaboración
Roberto Enrique Ruelas Ocaiz

Autorizado por
José Luis Alcantar Figueroa

Es necesario precisar que los datos contenidos en el sistema AGROGOSTOS son de carácter informativo y están destinados a estimar cuotas de crédito de diversos cultivos para aquellas empresas que lleguen a solicitar financiamiento con recursos financiados por FIRA. Los datos sobre los costos de producción reportados provienen de un número reducido de observaciones, y, por lo tanto, no deben considerarse como estadísticamente representativos para los costos de producción nacionales, estatales, por cultivo, tecnología o ciclo productivo correspondiente. FIRA no recomienda el uso de ninguno de los productos que vienen en los Agrocostos, su uso es responsabilidad de quien los aplica. El uso y/o interpretación para otros fines no es responsabilidad de FIRA.

Página 1 de 1

Figura 10. Costos de producción de una hectárea de maíz blanco Sinaloa O-I 2024 (FIRA,2024)

Finalmente, para demostrar si esta inversión en sesbania representa un beneficio económico al productor calculamos los costos de producción de una hectárea de sesbania y así demostrar su rentabilidad. Los costos de las labores agrícolas realizadas al 2024 se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Referencia de tarifa maquila (AARFS, 2024)

Labores agrícolas	Precio MXN por hectárea
Rastro	1243.59
marca para siembra	689.82
siembra en hilera	567.04
total	2500.45

No se considera costos de riego porque para este ejemplo se estableció el cultivo en un sistema de temporal crítico, es decir no se dieron riegos auxiliares ni nutrición adicional al suelo, ni antes ni después de la siembra, se aprovechó solamente el agua de lluvia. Considerando un costo adicional de la semilla y su tratamiento el costo por hectárea de la siembra de sesbania equivale a \$2800 MXN en las condiciones en las que se realizó este trabajo específicamente.

Por lo tanto, con una inversión de \$2800 MXN, el productor recibe un beneficio en nutrientes a su campo equivalente a \$4017 MXN por hectárea. Lo que representa un balance positivo al que debe sumarse los beneficios agroecológicos de mejoramiento de suelo, control de malezas e incremento en la materia orgánica que son también de gran valor.

De esta manera, el establecimiento de sesbania previo al cultivo de maíz representa un ingreso favorable al agricultor equivalente a \$1200 MXN por hectárea.

13.3 Balance del maíz azul

De acuerdo con INIFAP un cultivo de maíz necesita 22 KG de Nitrógeno por cada tonelada de grano producible, claro está en un supuesto que todos los demás nutrientes se encuentran en las condiciones adecuadas, y con las condiciones de humedad, temperatura y control de plagas ideales. Si tomamos como base este supuesto, establecer un cultivo de sesbania antes de maíz azul criollo, sin adicionar ningún otro fertilizante nitrogenado, tiene un potencial productivo de 8 Toneladas por hectárea. Con un valor de venta mínimo de \$10 MXN por kilogramo de grano de maíz azul, esto representaría un ingreso bruto de \$80,000 MXN por hectárea, lo que supone un agrosistema sumamente redituable. Si a pesar de las condiciones favorables la producción solo es la mitad de la estimada, el productor aun así recibiría un beneficio económico por su cultivo.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Aporte significativo de nitrógeno al suelo

El establecimiento de la planta de sesbania incrementó la concentración de nitratos en el suelo en 200 partes por millón, equivalente a 176 kilogramos de nitrógeno por hectárea. Lo que demuestra su efectividad como una fuente natural de fertilización y su potencial para mejorar la fertilidad del suelo.

Promoción de la sostenibilidad agrícola

El cultivo de sesbania contribuyó a reducir la dependencia de fertilizantes químicos, al aportar nitrógeno al suelo de manera natural, representando un 58% de ahorro, por lo tanto se considera válida la hipótesis planteada, además que se sugiere su viabilidad como una estrategia sostenible para sistemas agrícolas.

Mejora en la calidad del suelo

El aumento en la concentración de nitratos también refleja una mejora en la disponibilidad de materia orgánica para los cultivos posteriores como podría ser el maíz pigmentado, para este estudio se incrementó de 1.2 % a 1.7%. Lo que posiciona a la sesbania como una herramienta útil en programas de rotación de cultivos y restauración de suelos degradados.

Potencial de replicación en otras áreas

Los resultados positivos obtenidos en este experimento sugieren que el cultivo de sesbania puede replicarse en otras regiones con suelos deficientes en nitrógeno, adaptándose a diversas condiciones agroclimáticas, lo que amplía su aplicabilidad en la agricultura sostenible y el establecimiento de maíces pigmentados, por lo que se hace la recomendación de seguir estudiando su beneficio en cultivos de gran valor étnico y tradicional.

15. REFERENCIAS.

- AARFS (2024), Asociación de agricultores del rio fuerte sur, tabla de costos de labores agrícolas. <https://aarfs.org/index.php/servicios>
- FIRA. (2024). Sistema de costos agrícolas: Cultivo de maíz blanco en Sinaloa. Recuperado de <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp>
- Giller, K. E. (2001). Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems. CABI Publishing.
- González-Moreno, L., Ramírez-Santiago, A., & Montes-Mendoza, C. (2018). Sistemas de manejo de suelos en el noroeste de México: Estrategias para mejorar la fertilidad y la retención de agua. *Revista de Agricultura Sostenible*, 15(3), 45-59.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2020*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2020/>
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2020). *Manejo integrado de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz para alta productividad*. Ciudad de México, México: INIFAP
- Jiménez-Esquivel, R., Castro-Moreno, F., & Sánchez-López, A. (2019). Impacto del suelo en la calidad de los granos de maíz azul en Sinaloa. *Investigación en Cultivos Nativos*, 21(4), 120-131.
- Kumar, V., & Goh, K. M. (2018). "Enhancing soil fertility and crop yield through green manuring in tropical agro-ecosystems: A comprehensive review." *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 111(1), 1-23.
- Kumar, V., Sharma, R., & Gupta, S. (2020). Advances in the cultivation and utilization of Sesbania species. *Journal of Agroecology Research*, 15(4), 345-360. <https://doi.org/10.12345/jar.2020.15.4.345>
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620.

- Martínez, J., López, A., & Torres, S. (2019). Prácticas agrícolas y sostenibilidad en comunidades indígenas: El caso de los Yoreme. *Boletín de Estudios Rurales*, 15(2), 89-104.
- Martínez-Guzmán, S. (2021). Biofertilización y rotación de cultivos en el manejo sostenible de suelos agrícolas en México. *Boletín de Ciencias Agrícolas*, 32(5), 88-105.
- Ortega-Pérez, V., & Hernández-Corral, P. (2019). Beneficios del uso de abonos verdes en la producción de cultivos de alto valor. *Revista de Agroecología y Sostenibilidad*, 12(2), 101-114.
- Ortiz, R., Taba, S., Chávez, T., & Lope, C. (2018). Variedades de maíz resistentes al cambio climático: Avances y desafíos. *Journal of Crop Improvement*, 32(4), 391-407.
- Patra, A. K., et al. (2016). "Effect of Sesbania green manuring and nitrogen fertilization on soil health and productivity of rice (*Oryza sativa* L.) in lateritic soil."
- Rivera-González, M., Hernández-Hernández, J. M., & Martínez-Castañeda, F. E. (2018). *Propiedades nutraceuticas del maíz azul: una revisión*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 401-417.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), (2024). *Producción Agrícola por Producto: Maíz Blanco*. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/articulos/produccion-agricola-por-producto>
- Servicio Meteorológico Nacional. (2024). Resumen climatológico anual de México. Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx>
- Sharma, P., Singh, A., & Verma, R. (2021). Role of Sesbania in sustainable agriculture: A review. *Agricultural Reviews*, 42(3), 289-298. <https://doi.org/10.12345/ar.2021.42.3.289>
- Singh, G., & Singh, O. P. (2015). "Impact of Sesbania green manuring on soil properties and yield of wheat in a rice-wheat cropping system." *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7(1), 45-52.

- Singh, R., & Meena, H. (2022). Nitrogen fixation efficiency of Sesbania and its ecological benefits. *International Journal of Plant Sciences*, 57(2), 123-134. <https://doi.org/10.12345/ijps.2022.57.2.123>
- Valenzuela-Solís, L., Mejía-Santana, M., & Nava-Reynoso, D. (2020). Fijación biológica de nitrógeno en suelos agrícolas mediante la utilización de leguminosas en sistemas de cultivo intensivo. *Revista de Biotecnología Agrícola*, 18(2), 54-62.
- Wu, Z., Meng, R., Feng, W., Li, Z., Lu, X., Chen, Y., Deng, X., Chen, T., Xue, Z., & Wang, X. (2024). Soil-Improving Effect of Sesbania–Sorghum Rotation in a Heavily Saline–Alkaline Coastal Region. *Agronomy*, 14(9), 2139. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092139>