



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS  
PROGRAMA EDUCATIVO INGENIERO AGRÓNOMO  
REGIÓN POZA RICA-TUXPAN

**PROYECTO EDUCATIVO INNOVADOR**  
**NÓDULOS RADICULARES: INTERACCIÓN DE RIZOBACTERIAS FIJADORAS**  
**DE NITRÓGENO Y PLANTAS LEGUMINOSAS**

**PARTICIPANTES DEL PROYECTO**

No. de personal	Académicos	Entidad
	<b>Dr. Raúl Allende Molar</b>	Fac. de C. Biol. y Agropecuarias
	Dra. Flor María Montero Solís	Fac. de C. Biol. y Agropecuarias
	Dra. Mercedes María Cuenca Condoy	Fac. de C. Biol. y Agropecuarias
	Dra. Sara Aída Alarcón Pulido	Fac. de C. Biol. y Agropecuarias
	Dr. Julio César González Cárdenas	Fac. de C. Biol. y Agropecuarias

**Fecha de elaboración:** 18 de septiembre DE 2020

**Fecha de conclusión:** 14 de enero 2021

**LUGAR DE APLICACIÓN:** Sesiones virtuales TEAMS, Plataforma actividades TEAMS, Localidades de origen de los estudiantes, unidades de traspatio (Zona norte Veracruz: Papantla, Tuxpan, Álamo, Coyutla, Poza Rica, Martínez de la Torre, Citlaltepet. Zona norte Puebla: Metlatoyuca)



## ÍNDICE

<b>I. DATOS DE LA EXPERIENCIA EDUCATIVA IMPLICADA.....</b>	<b>1</b>
<b>II. RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>III. DESARROLLO .....</b>	<b>2</b>
3.1 Necesidad vinculada a aprendizajes de estudiantes .....	2
3.2 Justificación del proyecto.....	3
3.3 objetivo general.....	3
3.4 Objetivos particulares.....	3
3.5 Definición de la intención o alcances del proyecto .....	4
3.6 Descripción de la innovación educativa.....	4
3.7 Medios y recursos para la implementación .....	4
3.8 Metodología del proyecto.....	5
3.8.1. Colecta y manejo de la muestras de suelo. ....	5
3.8.2. Selección de semillas de especies de leguminosa. ....	5
3.8.3. Inicio, desarrollo y evaluación del experimento. ....	5
3.8.4. Evaluación de formación de nódulos radiculares a las 3, 5 y 7 semanas después de la siembra... ..	5
3.8.6. Variables de respuesta.....	6
<b>IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>6</b>
4.1 Selección y siembra de semillas de leguminosa.....	6
4.2 Primera evaluación de nodulación radicular (3 semanas después de siembra) .....	7
4.3 Segunda evaluación de nodulación radicular (5 semanas después de la siembra).....	8
4.4 Tercera evaluación de nodulación radicular (7 semanas después de la siembra). ....	8
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>11</b>
<b>VI. FUENTES DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>VII. ANEXOS.....</b>	<b>12</b>
7.1. Estudiantes participantes en el Proyecto Educativo Innovador.....	12

## **I. DATOS DE LA EXPERIENCIA EDUCATIVA IMPLICADA**

Nombre: **E.E. Optativa III M.I.T. III Uso Potencial de la Biotecnología para el Mejoramiento de los Sistemas de Producción Agropecuaria**

Academia: **Sistemas de Producción. EE Optativas**

Área de Formación: **Formación Disciplinar Optativa**

Unidad de competencia: **El estudiante conoce y aplica estrategias biotecnológicas sustentables de producción en cultivos agrícolas.**

Carácter: **Optativa**

## **II. RESUMEN**

Se realizó un Proyecto Educativo Innovador en el que participaron once estudiantes de séptimo semestre cursando la Experiencia Educativa **Optativa III M.I.T. III Uso potencial de la biotecnología para el mejoramiento de los sistemas de producción agropecuaria** del programa educativo Ingeniero Agrónomo durante el periodo septiembre 2020 - febrero 2021. La fijación biológica de nitrógeno es un proceso natural de importancia significativa en la agricultura mundial. El objetivo principal fue establecer experimentos en el traspatio de las casas de los estudiantes utilizando suelo con actividad agrícola reciente y diversas semillas de leguminosas cuyo objetivo era observar el desarrollo de nódulos radiculares resultado de la interacción de bacterias fijadoras de nitrógeno y especies vegetales del tipo de las leguminosas. Los estudiantes integraron los conocimientos teóricos y prácticos a través del desarrollo de estos experimentos. Por otro lado, podemos mencionar que el conocimiento de esta interacción servirá de base para comprender la importancia de la existencia de microorganismos benéficos ubicuos en la naturaleza y que podemos utilizarlos como aliados en los sistemas de producción agrícola. Al realizar estos experimentos, los estudiantes fueron capaces de establecer estos experimentos, centrados en el aprendizaje a través de la construcción del conocimiento de interacciones naturales; de esta manera los estudiantes integraron sus conocimientos con el desarrollo de las interacciones en la rizosfera de las

plantas leguminosas, las cuales en algunos casos son especies de importancia agrícola. Los resultados mostraron que existieron problemas de germinación en canavalia, lengua de vaca y cacahuate. Se observó el desarrollo de nódulos radiculares en frijol (*Phaseolus vulgaris*), chícharo y alverjón (*Pisum sativum*), lenteja (*Lens culinaris*), haba (*Vicia faba*) y liliaque (*Leucaena leucocephala*). La abundancia de nódulos radiculares en frijol podría ser una herramienta biotecnológica de ayuda en este cultivo, ya que los nódulos pueden macerarse en agua y después con esa infusión tratar semilla justo antes de la siembra para que la interacción bacteria fijadora de nitrógeno-raíz de frijol ocurra lo más pronto posible en condiciones de campo. Al concluir la EE Optativa Uso potencial de la biotecnología para el mejoramiento de los sistemas de producción agropecuaria, el estudiante tiene la capacidad de establecer estrategias sustentables para efficientizar la producción de cultivos.

**Palabras clave:** microorganismos benéficos, *Rhizobium* sp., biotecnología agrícola, rizobacterias

### III. DESARROLLO

#### 3.1 Necesidad vinculada a aprendizajes de estudiantes

Los estudiantes mediante la **EE Optativa III Uso potencial de la biotecnología para el mejoramiento de los sistemas de producción agrícola** necesitan conocer estrategias biotecnológicas para resolver los problemas en la producción de cultivos. En nuestro ejemplo de proyecto innovador el objetivo es que los estudiantes sean capaces de establecer experimentos con diversas especies vegetales (leguminosas) y observar el desarrollo de una interacción microbiológica que resulta en la producción de nódulos radiculares en los cuales existe la fijación biológica de nitrógeno. El nitrógeno es de vital importancia en la agricultura y su uso y manejo atañe directamente al perfil profesional del Ingeniero Agrónomo. El proyecto que se realizó fue **“Nódulos radiculares: interacción de rizobacterias fijadoras de nitrógeno y plantas leguminosas”** en el cual se utilizó el método científico a través de experimentos en los que se utilizó suelo y especies vegetales leguminosas, analizando mediante la observación los resultados que en este caso se trató de nódulos radiculares; estas observaciones permitieron

a los estudiantes comprobar el conocimiento teórico, y de esta manera afianzarlo mediante la observación en un ambiente real, lo cual les ayudará a establecer alternativas de producción sustentable mediante un método simple y barato al obtener nitrógeno de la atmósfera al cultivar leguminosas.

### **3.2 Justificación del proyecto**

El nitrógeno es de vital importancia en el desarrollo de las plantas; sin embargo su síntesis química es costosa por lo que su precio ha ido en aumento en los últimos años. Por ello, la implementación de experimentos en donde los estudiantes pueden conocer las interacciones entre plantas de leguminosas y bacterias fijadoras de nitrógeno es importante. Este trabajo se realizó en las áreas de traspatio en las localidades de origen de los estudiantes (Zona norte Veracruz: Papantla, Tuxpan, Álamo, Coyutla, Poza Rica, Martínez de la Torre, Citlaltepet. Zona norte Puebla: Metlatoyuca) utilizando suelo con actividad agrícola y semillas de plantas leguminosas. En este proyecto educativo innovador el propósito fue aplicar el conocimiento teórico con la observación práctica al establecer distintos cultivos y evaluar la formación de nódulos fijadores de nitrógeno en especies de leguminosas. Los objetivos que se establecieron en este proyecto innovador educativo fueron:

### **3.3 objetivo general**

Evaluar el desarrollo de nódulos radiculares resultado de la interacción de bacterias fijadoras de nitrógeno y raíces de leguminosas.

### **3.4 Objetivos particulares**

- a) Colectar muestras de suelo
- b) Seleccionar al menos dos especies de leguminosas
- c) Realizar germinación de semillas de leguminosas
- d) Mantener el crecimiento de especies de leguminosa
- e) Observar la formación de nódulos radiculares

### **3.5 Definición de la intención o alcances del proyecto**

El proyecto educativo innovador se desarrolla al establecer una investigación experimental con el objetivo de evaluar el desarrollo de nódulos radiculares en especies de leguminosas, interacción que resulta en la fijación biológica de nitrógeno. El nitrógeno es un elemento esencial para el desarrollo de plantas y para el incremento del rendimiento y calidad de distintos cultivos.

Los estudiantes tuvieron el apoyo del **Cuerpo Académico: “Desarrollo agropecuario sustentable y su competitividad en los agronegocios”**, que tiene como **LGAC: Aprovechamiento, manejo y conservación de los sistemas agropecuarios**, así como de las EE Sistemas de Producción Hortícola I y Optativa II M.I.I. II Biotecnología, Producción y Manejo de Biofertilizantes. Lográndose el desarrollo de metodologías y técnicas que se requieren en el estado de Veracruz, para solucionar un problema en la producción de cultivos agrícolas.

### **3.6 Descripción de la innovación educativa**

El proyecto planteado es un tipo de proyecto de investigación experimental con variables descriptivas que se enfoca en dar a conocer una interacción única entre bacterias fijadoras de nitrógeno ubicuas en suelo y las raíces de especies de leguminosa. Esa interacción, resulta en el desarrollo de nódulos radiculares en la rizosfera de plantas de leguminosas. En esos nódulos se efectúa la fijación biológica de nitrógeno. El desarrollo de este proyecto enfatiza la idea de despertar en los estudiantes el interés por conocer las interacciones microbianas que ocurren en la rizosfera de algunas plantas, lo cual fortalecerá la información teórica otorgada en el aula de clase.

### **3.7 Medios y recursos para la implementación**

Semillas de leguminosas, suelo, macetas, agua, espacio para mantener las plantas.

### **3.8 Metodología del proyecto**

#### 3.8.1. Colecta y manejo de la muestras de suelo.

Cada estudiante colectó una muestra de suelo en su lugar de residencia. La muestra fue la necesaria para llenar al menos 6 macetas en las que se daría seguimiento al experimento de desarrollo de plantas de leguminosa.

#### 3.8.2. Selección de semillas de especies de leguminosa.

Cada estudiante necesitaría conseguir entre 15 a 20 semillas de una especie de leguminosa. Las semillas seleccionadas deberían estar libres de daños físicos o deformidades y asegurarse que fueran de una sola especie (sin tener semillas mezcladas de arvenses, residuos etc).

#### 3.8.3. Inicio, desarrollo y evaluación del experimento.

Documentar fotográficamente el inicio del experimento

Materiales: Macetas, suelo, semillas (nombre común y científico de las semillas para documento final). Etiquetas con distintas fechas: 6/11/2020, 20/11/2020 y 4/12/2020 en duplicado

1. Etiquetar cada maceta con una de las fechas mencionadas
2. Adicionar agua a la maceta aproximadamente a capacidad de campo (60 % de peso de la maceta en agua).
3. Registrar número de semillas sembradas
4. Registrar numero de semillas sembradas y documentar porcentaje de semillas germinadas
5. Regar cuando sea necesario y no fertilizar

#### 3.8.4. Evaluación de formación de nódulos radiculares a las 3, 5 y 7 semanas después de la siembra

1. Tomar fotografía de plantas creciendo en macetas
2. Remover plantas que crecieron en maceta etiquetada como primer evaluación

3. Tratar de no dañar la raíz, remover el suelo y observar si existe la formación de nódulos
4. Lavar las raíces con agua y tomar fotografía de raíces lavadas
5. Si existieron nódulos radiculares, registrar en cuantas plantas fueron visibles

#### 3.8.5. Tratamientos y Diseño experimental

Los tratamientos en este proyecto experimental fueron las distintas especies de leguminosas utilizadas por los estudiantes. El diseño experimental aplicado fue completamente al azar. Cada tratamiento contó con al menos tres repeticiones, en donde una repetición = una semilla germinada

#### 3.8.6. Variables de respuesta

- Número de semillas germinadas
- Número de raíces con nódulos formados en la evaluación 1
- Número de raíces con nódulos formados en la evaluación 2
- Número de raíces con nódulos formados en la evaluación 3

## **IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.**

### **4.1 Selección y siembra de semillas de leguminosa.**

Los estudiantes seleccionaron distintas especies de leguminosas (Figura 1) para realizar el proyecto. Entre ellas se encontraban algunas semillas de cultivos agrícolas (frijol, haba, lenteja, chicharo, alverjón, cacahuate), cultivos de cobertera (canavalia) y arvenses comunes (pata de vaca y liliaque). Para realizar esta selección los estudiantes tuvieron que investigar cuales especies pertenecen al tipo de las leguminosas.



**Figura 1.** Semillas de leguminosas seleccionadas. a= Liliaque (*Leucaena leucocephala*), b=Haba (*Vicia faba*), c= Alverjón (*Pisum sativum*), d=Canavalia (*Canavalia* sp.), e= Pata de vaca (*Bahuinia* sp.), f= cacahuete (*Arachis hypogaea*), g= Chícharo (*Pisum sativum*) h= lenteja (*Lens culinaris*), i=frijol (*Phaseolus vulgaris*)

#### 4.2 Primera evaluación de nodulación radicular (3 semanas después de siembra)

El frijol fue la única especie que, en esta primera evaluación, mostró la formación incipiente y en otros casos desarrollada de nódulos radiculares (Figura 2).



**Figura 2.** Detalles de plantas, raíces y nódulos radiculares en plantas de frijol en la primer evaluación.

#### 4.3 Segunda evaluación de nodulación radicular (5 semanas después de la siembra)

Las especies que mostraron nódulos radiculares fueron frijol (Figura 3) y liliaque. Durante estas primeras etapas se observó que la lenteja era un cultivo con escaso desarrollo en la mayoría de los casos; esto puede atribuirse a que los suelos no fueron los apropiados para el desarrollo e igual que las condiciones climáticas no fueron propicias para el desarrollo óptimo de esta especie



**Figura 3.** Detalles de nódulos radiculares formados en frijol

#### 4.4 Tercera evaluación de nodulación radicular (7 semanas después de la siembra).

En la tercera evaluación se observaron numerosos nódulos radiculares visibles a simple vista en frijol pues las plantas tenían un abundante sistema radicular. En las plantas de alverjón se observó el desarrollo de nódulos radiculares muy pequeños y de color café; en contraste en las plantas de chícharo, no se observó el desarrollo de nódulos radiculares.

En las raíces de liliaque (Figura 4) y haba (Figura 5) se observó el desarrollo de nódulos radiculares. La interacción entre las bacterias y el huésped de leguminosa es muy específico ya que un *Rhizobium* o *Bradyrhizobium* en particular solo interactúa para formar nódulos con un número selecto de géneros de plantas. Por ejemplo *R. melilotii* solo desarrollará nódulos con alfalfa, mientras que *R. leguminosarum* biovar *trifolii* solo formará nódulos con trébol (*Trifolium*) (Hubell y Kidell, 2009).



**Figura 4.** Plantas de liliaque y detalle de raíces con nódulos radiculares



**Figura 5.** Plantas de haba y detalle de sus nódulos radiculares

La asociación entre la planta huésped de leguminosa y la bacteria noduladora es benéfica mutuamente (relación simbiótica). La planta otorga la energía necesaria que hace capaz a la bacteria para fijar nitrógeno de la atmósfera y lo pasa a la planta para usarlo en la producción de proteínas. Esta interacción es conocida como fijación simbiótica de nitrógeno (Herridge et al., 2008).

**Cuadro 1.** Desarrollo de nódulos radiculares en plantas de leguminosas en diversos periodos de tiempo.

Nombre	Especie sembrada	Evaluación 1* Plantas con nódulos/plantas evaluadas	Evaluación 2* Plantas con nódulos/plantas evaluadas	Evaluación 3* Plantas con nódulos/plantas evaluadas
Lisandro Hernández	Frijol	1/4	3/4	5/5
Lisandro Hernández	Cacahuete	0/0	0/0	0/0
José Dominguez	Chícharo	0/5	0/6	0/6
José Dominguez	Lenteja	0/5	3/5	6/10
Alejandro Paredes	Frijol	0/5	0/5	3/5
Alejandro Paredes	Alverjón	0/5	0/5	3/5

Faustino Santiago	Frijol	12/22	14/20	16/22
Faustino Santiago	Haba	0/9	3/7	5/8
Juan Torres	Frijol	4/5	3/3	3/3
Juan Torres	Lenteja	0/5	0/3	0/3
Susana Secundino	Frijol	3/12	11/11	5/5
Susana Secundino	Lenteja	0/10	0/9	0/12
Aldo Hernández	Frijol	0/3	0/5	0/4
Aldo Hernández	Lenteja	0/5	0/1	0/5
Jesús Hernández	Liliaque	1/3	1/1	2/2
Jesús Hernández	Frijol	0/2	0/2	2/2
Rusbén Ruiz	Frijol	0/2	2/2	3/3
Rusbén Ruiz	Lenteja	0/2	0/3	2/5
Javier Hernández	Frijol	0/2	2/2	2/2
Javier Hernández	Lenteja	0/2	0/1	0/1
Johan Santiago	Frijol	0/4	3/5	4/4
Johan Santiago	Lenteja	0/1	0/6	0/4

\*Evaluación 1= 3 semanas después de la siembra, \*Evaluación 2= 5 semanas después de la siembra, \*Evaluación 3= 7 semanas después de la siembra,

Los estudiantes al realizar el proyecto de investigación logran desarrollar la competencia establecida, ya que tienen la capacidad de a establecer alternativas de producción sustentable al utilizar herramientas biotecnológicas del cultivo como son las bacterias fijadoras de nitrógeno, así como conocer esta interacción microbiana que mejora los aspectos agronómicos de los cultivos agrícolas, basándose en la construcción del conocimiento a partir de investigaciones, utilizando los principios, métodos y técnicas apropiadas con responsabilidad y ética profesional.

El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas pero no está disponible para ellas en la forma que prevalece como nitrógeno atmosférico. En este proyecto los estudiantes tuvieron la oportunidad de observar la asociación simbiótica entre bacterias fijadoras de nitrógeno y raíces de plantas de leguminosas. La asociación más efectiva ocurrió con la planta de frijol. Los

nódulos radiculares fueron visibles a simple vista y se desarrollaron en mayor tamaño y cantidad conforme transcurrió el desarrollo y crecimiento de las plantas..

## **CONCLUSIONES**

El proyecto educativo innovador se realizó con la finalidad de que los estudiantes establecieran experimentos que involucraban suelo y plantas leguminosas para observar la interacción de bacterias fijadoras de nitrógeno con la rizosfera de leguminosas. Con esta experiencia el estudiante se enfrenta a situaciones reales de la práctica de agronomía, debe analizar el desarrollo del experimento y tomar decisiones basadas en el conocimiento teórico para resolver eventualidades inesperadas. Al mismo tiempo construye su conocimiento basado en experiencias reales considerando la importancia que tiene el nitrógeno para el desarrollo, rendimiento y calidad de los cultivos.

En este proyecto se relacionaron la práctica, la teoría y también la investigación mediante proyectos experimentales, en los cuales mediante el desarrollo, ejecución y obtención de resultados los estudiantes adquieren las competencias para su desempeño profesional. Los estudiantes tuvieron una experiencia que se realizó en horarios extraclase y se observó en ellos actitudes positivas como entusiasmo, deseos de aprender, curiosidad y compromiso.

## **V. PROPUESTA DE MEJORA**

En el proyecto innovador presentado uno de los factores críticos observados, al inicio del proyecto, fue que los estudiantes seleccionaron algunas especies cuyas semillas no tuvieron la germinación adecuada y eso puede retrasar las actividades planeadas a través del tiempo. Las acciones de solución tomadas fue sugerir a los estudiantes que si observaban problemas de germinación inmediatamente iniciaran el experimento con otra especie de leguminosa.

## **VI. FUENTES DE INFORMACIÓN**

FAO. 2018. Legumbres. Pequeñas semillas, grandes soluciones. Ciudad de Panamá. 292 páginas.

- Herridge, D. F., Peoples, M. B., & Boddey, R. M. 2008. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil* **311**, 1-18 (2008).
- Hubbell, D. H. & Kidder, G. 2009. Biological Nitrogen Fixation. University of Florida IFAS Extension Publication SL16. 1-4.
- Vance, C. (2001). Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiology* **127**, 391-397.
- Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindles, D. W., Schlesinger, W. H., Tilma, D. G. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications* **7(3)**, 737-750.

## VII. ANEXOS

**7.1. Estudiantes participantes en el Proyecto Educativo Innovador. EE Uso Potencial de la Biotecnología para el Mejoramiento de los Sistemas de Producción Agropecuaria. Séptimo periodo. Septiembre 2020 - febrero 2021. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Tuxpan. PE Ingeniero Agrónomo.**

