

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL



Trabajo terminal

“*Burkholderia caribensis* XV como una alternativa ambiental para el uso del nitrógeno por el cultivo de trigo en el Valle del Yaqui, Sonora”

**Que para obtener el diploma de
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**Presenta
ISMAEL FRAGOSO SOSA**

Ensenada, Baja California, Septiembre 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL

“Burkholderia caribensis XV como una alternativa ambiental para el uso del nitrógeno por el cultivo de trigo en el Valle del Yaqui, Sonora”

TRABAJO TERMINAL

Ismael Fragoso Sosa

APROBADO POR:



Dr. José Luis Ferrnán Almada

PRESIDENTE DEL JURADO



Dr. Sergio de los Santos Villalobos

SINODAL



Dra. Marisa Reyes Orta

SINODAL

AGRADECIMIENTOS.

Primero que nada quisiera agradecer a mis padres por su apoyo y amor infinito, por siempre estar a mi lado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

Agradecer a la UABC por haberme permitido estudiar aquí y en especial a la Facultad de Ciencias Marinas, a los maestros que nos tuvieron la paciencia durante un año entero y a los administrativos que siempre nos apoyaron cuando estábamos perdidos en los tramites. Quisiera agradecer también a CONACyT por el apoyo económico, sin éste no hubiese podido estudiar fuera de mi estado.

Agradecer también a mis compañeros que me apoyaron en las buenas y malas durante los estudios y fuera de ellos, y principalmente a mis roomates con los que tuve la fortuna de vivir y que además eran mis compañeros de casa, muchas gracias.

Quisiera agradecer también a ITSON y al Dr Sergio por permitirme realizar mis prácticas profesionales y que de ahí salió esta tesis.

Agradecer a todos aquellos que tuve la fortuna de conocer en mi estancia en Ensenada, Muchas Gracias..

RESUMEN

El rápido crecimiento de la población mundial impacta significativamente al sector agrícola, a través de la demanda incrementada de alimentos. Lo cual ha conducido al uso excesivo de fertilizantes, generando efectos negativos a la salud humana, el medio ambiente y la economía de los productores. La búsqueda de sistemas de producción agrícola sustentable en los últimos años, ha traído consigo la utilización de nuevas tecnologías que permitan migrar de la producción agrícola tradicional a una agricultura sostenible en el Valle del Yaqui. El uso de Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal (PGPM, por sus siglas en inglés) representa una alternativa promisoría para la región, con un papel positivo y significativo en la sostenibilidad de los agro-ecosistemas (Antoun y Prevost, 2006). El objetivo de este trabajo fue cuantificar la contribución de la inoculación de *Burkholderia caribensis* XV sobre la productividad del cultivo del trigo bajo diferentes dosis de nitrógeno aplicado. Los resultados de este trabajo nos demuestran que la aplicación excesiva de nitrógeno (100%), no es necesaria para el buen rendimiento del trigo, se demostró que al aplicar la mitad de nitrógeno se obtiene un rendimiento similar a un costo menor, pero que para las condiciones del suelo, el cual cuenta con poca materia orgánica (1.08%), la aplicación de *Burkholderia caribensis* XV resultó perjudicial para el desarrollo de la planta.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN	3
I. INTRODUCCIÓN	7
II. ANTECEDENTES	9
II. MARCO TEÓRICO.....	11
Agricultura Intensiva	11
Uso de Fertilizantes Nitrogenados en la Agricultura	11
El Valle del Yaqui, Sonora	12
Revolución Verde: Evolución, Agricultura Intensiva, Exceso de Nitrógeno en el Suelo, y Problemática.....	13
Efectos Negativos a la atmósfera	15
Efectos negativos al Agua	15
Efectos negativos al Suelo	16
Efectos negativos a la Salud	17
Instrumentos de manejo	18
Burkholderia caribensis XV.....	19
IV. HIPÓTESIS.....	20
V. PROBLETICA	20
VI. OBJETIVO GENERAL	20
VII. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
VIII.....	21
METODOLOGÍA	21
Zona de Estudio.....	21
Bloques al azar en parcelas anidadas	22

Reproducción de la bacteria.....	23
Toma de decisiones.....	23
Proceso de la toma de decisiones.....	24
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
Objetivo 1	26
Objetivo 2	26
Objetivo 3	27
X. CONCLUSIÓN.....	30
XI. PERSPECTIVA.....	30
BIBLIOGRAFÍA	31
ANEXOS	36

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. SAGARPA, 2012. Diagnóstico de trigo 2012.....	10
Tabla 2. Historia de la revolución verde.	13
Tabla 3. Resultados tonelada por hectárea de semilla y paja.....	28

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Porcentaje de nitrógeno aplicado y rendimiento del trigo en el Valle del Yaqui, 1960–2008 (Stanford/CIMMYT surveys).....	14
Figura 2.- La lixiviación de nitrato en función a la dosis de fertilizante nitrogenado y del volumen de drenaje en un cultivo de maíz en California.	17
Figura 3.- Principales mecanismos de los BPCV.	19
Figura 4. Localización del sitio experimental.....	21

Figura 5. Diagrama de investigación.....	22
Figura 6. Proceso de toma de decisiones.	24
Figura 7. <i>Burkholderia caribensis</i> XV en caja Petri.	26
Figura 8. Diagrama de los bloques al azar.....	26
Figura 9. Trigo antes de la cosecha.	27
Figura 10. Parcela Útil.....	27

I. INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la población mundial impacta significativamente al sector agrícola, a través de la demanda incrementada de alimentos. Lo cual ha conducido al uso excesivo de fertilizantes, generando efectos negativos a la salud humana, el medio ambiente y la economía de los productores. La búsqueda de sistemas de producción agrícola sustentable en los últimos años, ha traído consigo la utilización de nuevas tecnologías como invernaderos, sensores, aplicación de sistemas de riego novedosos, entre otros, modificando las prácticas agrícolas convencionales de los agricultores. Lo anterior, con el objetivo de incrementar la productividad de manera sostenible de los sistemas agrícolas, a través de un mejor uso de los recursos naturales.

Los cambios en la política sectorial, como la reducción de subsidios en insumos estratégicos para los procesos de producción, tales como: las semillas, los fertilizantes y el agua de riego, así como la necesidad de conservar el medio ambiente, han alterado las condiciones en que se desenvuelven los productores agrícolas de México y, en particular, los del Valle del Yaqui en Sonora. Esto ha ocasionado que éstos demanden tecnológicas de vanguardia que les permitan mantener o incrementar su productividad y, al mismo tiempo, reducir costos económicos y ambientales (Aquino, 1998).

En relación a la utilización de tecnologías novedosas que permitan migrar de la producción agrícola tradicional a una agricultura sostenible en el Valle del Yaqui, el uso de Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal (PGPM, por sus siglas en inglés) representa una alternativa promisoría para la región, con un papel positivo y significativo en la sostenibilidad de los agro-ecosistemas (Antoun y Prevost, 2006). Por lo cual, es determinante analizar las ventajas competitivas en todo los aspectos que nos brindan las nuevas tecnologías como es el uso de microorganismos, los cuales han sido estudiados escasamente en la agricultura de la región, desconociendo la contribución de este recurso microbiano en la producción, y sobre todo, en el medio ambiente. Así, de acuerdo con Vitousek *et al.* (2009), el Valle Yaqui representa un excelente caso de estudio para la armonización de los desafíos económicos, ambientales, y agronómicos relacionados a la agricultura sostenible. Esta región es una

de las paneras principales de México, por lo cual las características de su producción agrícola y sus consecuencias ambientales son de gran importancia en la región y en nuestro país. Además, como el punto de inicio de la revolución verde del trigo, el modelo de dirección (incluyendo las tarifas crecientes de uso de fertilizante) en el Valle Yaqui, provee en gran medida un panorama para otras regiones de alta productividad de cereales irrigados del mundo.

II. ANTECEDENTES

Los cereales son la fuente de alimentos más importante del mundo (FAO, 2002). En el contexto mundial, los granos básicos o de consumo directo (maíz, frijol, trigo y arroz) representan una de las principales fuentes nutricionales en la dieta humana, sobre todo para los asiáticos, africanos y latinoamericanos, cuyo consumo de carbohidratos llega a representar hasta el 80% del total en algunos países (FAO, 2002).

El trigo es uno de los cereales más cultivados a nivel mundial, ocupando alrededor de 240 millones de hectáreas (Curtis, 2002), y una producción de casi 600 millones de toneladas métricas anualmente (FAO, 2002). El 37% de la población lo utiliza como su principal cereal, aportando alrededor del 20% de las calorías consumidas por el hombre. Entre sus compuestos nutricionales más importantes está la proteína, cuyo contenido varía entre 6 y 25% (Blackman y Payne, 1987). El Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI, por sus siglas en inglés), indican que para el año 2020 dos tercios del consumo mundial del trigo ocurrirá en los países en desarrollo, en donde se estima será necesario duplicar el nivel actual de sus importaciones de este cereal.

En México, de acuerdo con las cifras del Servicio de Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) la producción total mexicana de trigo durante los últimos diez años (2002-2012) fue de 37 millones de toneladas, concentrándose cerca del 85% de la producción en los estados de Sonora (35%), Guanajuato (17%), Baja California (11.5%), Sinaloa (9.2%), Michoacán (6.4%) y Jalisco (4.4%).

Así, la región Noroeste aporta en promedio el 55% de la producción nacional del cereal y el Bajío el 28%, lo que conjuntamente representa más de las tres cuartas partes del total nacional. En la tabla 1 se observa el rendimiento promedio de trigo obtenido en los principales estados de México, así como las hectáreas sembradas.

Tabla 1. SAGARPA, 2012. Diagnóstico de trigo 2012.

Estado	Sembrada	Cosechada	Produccion Ton	Rendimiento
Sonora	254,759	254,759	1,759,378	6.91
Baja California	83,496	78,071	476,969	6.07
Guanajuato	60,937	59,956	330,663	5.52
Chihuahua	23,012	21,094	108,604	5.15
Michoacán	23,731	23,380	108,036	4.62
Otros	144,614	132,961	424,691	2.70
Total	590,549	570,221	3,205,341	5.60

Debido a estas necesidades básicas y de la importancia que tienen los cereales en la alimentación de las personas de los países en desarrollo y la creciente demanda de los mismos, aunado al rápido crecimiento de la población humana, se han implementado prácticas de agricultura intensiva, cuyo principal objetivo es obtener mayor productividad en la siembra sobre la misma superficie, con la finalidad de satisfacer la creciente demanda alimentaria. Una de las características que distinguen a la agricultura intensiva es el uso incrementado de fertilizantes sintéticos, los cuales son determinantes para proveer a los cultivos de los nutrientes que éstos necesitan y que se encuentran ausentes o en bajas cantidades en el suelo. Sin embargo, el uso excesivo de estos fertilizantes conducen a eventos de contaminación cuando éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o cuando se eliminan del agro-sistema por la acción del agua o del viento (FAO, 2002). Por ejemplo, los excesos de nitrógeno (N) que son aplicados en la agricultura generan problemas al suelo, a la salud de las personas y, contribuye a la generación de gases de efecto invernadero.

III. MARCO TEÓRICO

Agricultura Intensiva

Hasta mediados del siglo pasado, la producción agrícola se practicaba de forma natural, se utilizaban productos y técnicas que no se habían modificado en muchos siglos. Así, el surgimiento de la agricultura intensiva mediante el uso de nuevas variedades de cultivo, fertilizantes químicos y pesticidas, riego, y mecanización – conocida como la *revolución verde*– condujo a incrementos en la producción de granos en países en desarrollo en las pasadas cuatro décadas. Sin embargo, la intensificación agrícola ha jugado un papel crítico en la producción creciente de alimentos en una tasa similar al aumento de población humana, y en cierto nivel, ha substituido la necesidad de la modificación de las tierras, conduciendo a implicaciones serias para el entorno (Matson, 2012).

La agricultura intensiva actual, por su propia naturaleza, contribuye a la emisión de los gases causantes del efecto invernadero. Actualmente, esta actividad es responsable del 25% de las emisiones de dióxido de carbono, el 60% de las emisiones de metano y del 80% de óxido nitroso, a nivel mundial. Con el aumento sustancial de las aplicaciones de fertilizantes, especialmente en los países en vías de desarrollo, las emisiones de óxido nitroso por el sector agrícola podrían duplicarse en los próximos 30 años (ICCA, 2009).

En perspectiva, el desarrollo agrícola tendrá que aumentar la producción de alimentos, reduciendo o eliminando consecuencias negativas en la salud humana y al ambiente. Este objetivo de sostenibilidad, descrito por Gordon Conway como "*la revolución doblemente verde*", requiere el desarrollo de los nuevos accesos de dirección agrícolas que incorporan preocupaciones económicas, agronómicas, y ambientales en el proceso de toma de decisiones (Conway, 1997).

Uso de Fertilizantes Nitrogenados en la Agricultura

A escala mundial, el uso de fertilizantes nitrogenados ha aumentado rápidamente, de 9.5 millones de toneladas en 1960 a alrededor de 80 toneladas en 1990, y a más de

100 toneladas en la actualidad. Se pronostica un aumento, de las dos terceras partes en países en vía de desarrollo hacia 2050 (Robertson y Vitousek 2009). Lamentablemente, en promedio menos del 50 % de estos fertilizantes aplicados en cualquier campo, es usado directamente por el cultivo para la producción, así la cantidad restante se pierde y contamina el entorno a través de diversos mecanismos, por ejemplo: las pérdidas incrementadas de nitratos del suelos a sistemas de agua dulce y marítimos son el conductor principal de eutrofización en muchas regiones costeras del mundo, siendo también una fuente de agua potable de baja calidad (Matson, 2012). Además, la aplicación de fertilizantes N en la agricultura es la fuente antropogénica más importante de N_2O , que considera aproximadamente el 60 % de las fuentes de acumulación antropogénicas de este gas de efecto invernadero (IPCC, 2007a).

El Valle del Yaqui, Sonora

Este valle es el lugar donde nació la Revolución Verde, hoy en día es uno de las regiones del mundo donde mayormente se practica la agricultura intensiva, utilizando sistemas de riego, fertilizantes, cultivos mejorados, entre otros, para contribuir a uno de los más altos rendimientos de trigo del mundo. México es uno de los proveedores más grandes a nivel mundial de semillas y granos, donde el Valle Yaqui proporciona una historia de desarrollo agrícola y económico que es imitado y reflejado en el mundo entero. Pero también a lo largo de los años, su historia se ha convertido en un reto tanto ambiental, de recursos económico y social, relacionado con fuentes de agua, contaminación del aire y del agua, cambio en las políticas, impactos globales, salud humana, biodiversidad y cambio climático (Matson, 2012).

Revolución Verde: Evolución, Agricultura Intensiva, Exceso de Nitrógeno en el Suelo, y Problemática.

A mediados de los años 20s, el gobierno mexicano y la comunidad de desarrollo Internacional identificaron el Valle Yaqui como un centro apropiado para la investigación y desarrollo agrícola, debido a sus características agroclimáticas representativas en un 40 por ciento de las áreas en donde se cultiva trigo en países en vías de desarrollo. Liderados por el Dr. Norman E. Borlaug y un equipo internacional de científicos, el programa de investigación de trigo promovió tecnologías intensivas como nuevas variedades de cosecha, la irrigación a gran escala, fertilización, y pesticidas (Matson, 2012). Estos avances por parte del gobierno junto con el esfuerzo de los científicos, se dieron de principios de 1920 a finales de 1960 (como se muestra en la tabla 2).

Tabla 2. Historia de la revolución verde.

Año.	Descripción.
1920s	El gobierno mexicano y la comunidad de desarrollo internacional identificaron el Valle Yaqui como un centro apropiado para la investigación y desarrollo agrícola
1943	El gobierno mexicano, la Fundación Rockefeller y un equipo de científicos liderados por el Dr. Norman E. Borlaug iniciaron el programa de mejoramiento de trigo.
1955	Se crearon semillas más fuertes que resisten el exceso de nitrógeno en el suelo.
1960's	El programa de investigación se convirtió formalmente en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).
Nitrógeno 1960 a la fecha.	El promedio de fertilización rondaba entre los 40 kg/ha en 1960 y ha continuado aumentando a una tasa promedio de 250 kg/ha.
1970's	Premio Nobel de la Paz.

Así, como consecuencia de los desarrollos y nuevas tecnologías en ingeniería genética se desarrollaron nuevas variedades capaces de crecer en altas dosis de nitrógeno sin disminuir sus rendimientos. Para 1970, los resultados de las experimentaciones condujeron a la generación de variedades de trigo con rangos de 80 y 90 cm de alto y un potencial de 8ton/ha en las mejores condiciones experimentales (Fischer y Wall, 1976).

Las producciones de estas variedades de trigo, cortas-saturadas fueron optimizadas por el empleo de fertilizantes e irrigación. Las tasas promedio de fertilización anteriormente rondaban entre los 40 kg/ha en 1960 y éstas se incrementaron a 100 kg/ha para 1966, hoy en día continúan incrementando a casi cerca de 250 kg/ha como se muestra en la figura 1 (Matson, 2012). Así, estos aumentos de la producción y el área le dieron al Valle Yaqui la reputación como la casa de la revolución verde (Freebarin, 1963).

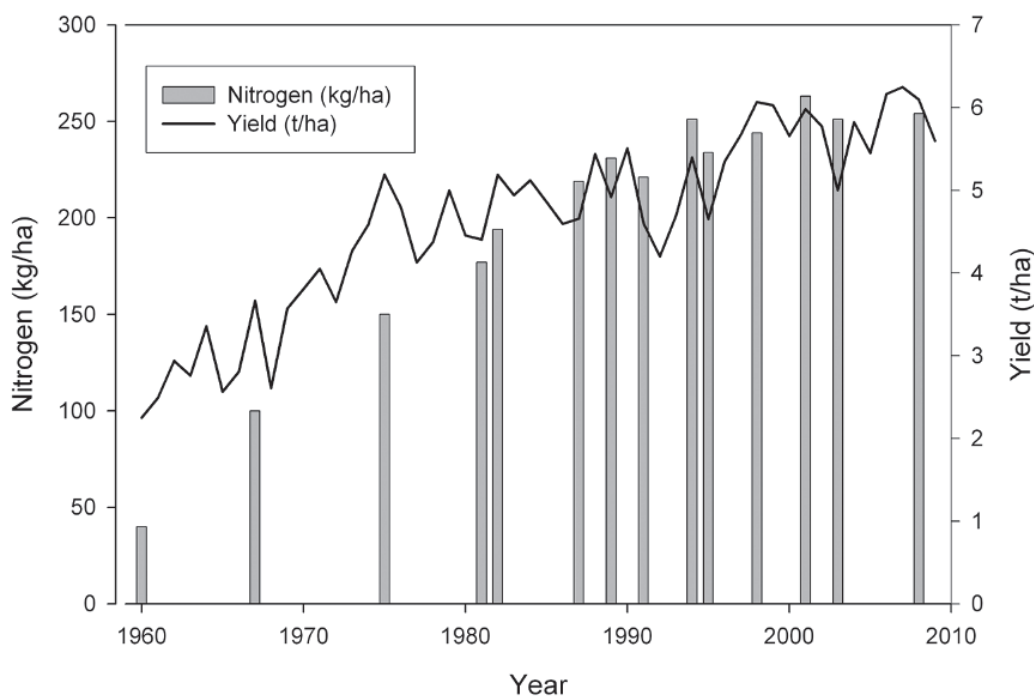


Figura 1.- Porcentaje de nitrógeno aplicado y rendimiento del trigo en el Valle del Yaqui, 1960–2008 (Stanford/CIMMYT surveys).

Efectos Negativos a la atmósfera

Los gases de efecto invernadero (GEI), se refiere a cualquier constituyente gaseoso de la atmósfera que tiene la capacidad de absorber y re-emitir radiación infrarroja. Estos gases pueden clasificarse en aquellos generados de manera natural o aquellos emitidos como resultado de las actividades socio-económicas del hombre (SEMARNAT, 2006).

En todo el mundo, aproximadamente la mitad del N aplicado permanece en el cultivo o se queda en el suelo (Matson *et al.*, 1997). El nitrógeno restante puede tomar distintas formas con varias consecuencias ecológicas y a la salud pública antes de ser convertido nuevamente en N₂, ver Anexo 1, Ciclo del Nitrógeno. En este proceso también puede ser liberado como óxido de nitrógeno (N₂O), gas cuyas propiedades son potentes para el efecto invernadero y que según los estudios de González (2007) tienen un efecto de calentamiento global 300 veces mayor que el del Dióxido de Carbono (CO₂).

Este efecto Invernadero causante del calentamiento global está asociado a un cambio climático que puede tener o no una relación antropogénica. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) define el cambio climático como: cualquier cambio en el clima a través del tiempo, ya sea debido a su variabilidad natural o como resultado de la actividad humana (IPCC, 2007). El IPCC investiga estos fenómenos desde hace varias décadas, formando grupos de trabajo especializados en distintas áreas (IPCC, 2007).

Efectos negativos al Agua

El fenómeno de eutrofización, es un fenómeno de contaminación que viene siendo estudiado desde la década del 70. El término se utiliza para describir los efectos biogeofísicos y biológicos en un ecosistema acuático, derivados de un incremento en el suministro y disponibilidad de nutrientes, principalmente Nitrógeno y Fósforo, aunque también en ocasiones otros minerales como Sílice, Potasio, Calcio, Hierro o Manganeso (**RAP-AL, 2010**). Eutrofización es el proceso de cambio de un estado

trófico a otro de nivel superior por adición de nutrientes. La agricultura es uno de los factores principales de eutrofización de las aguas superficiales **(FAO, 2002)**.

El nitrógeno proveniente del Valle del Yaqui tiene un fuerte efecto negativo en el Golfo de California, éste se debe principalmente a que la productividad en los océanos es regulada por el balance de tres nutrientes: nitrógeno, fósforo, y a un grado menor, hierro. En el Golfo de California, las concentraciones de nitrógeno y fósforo están tanto altas como bien correlacionadas en todas partes de la columna de agua, sin embargo existe relativamente más fósforo que nitrógeno, por lo cual cuando todo el nitrógeno de las aguas superficiales es consumido por la actividad microbiana, existe un exceso de fósforo (Alvarez-Borrego *et al.*, 1978). En efecto, el nitrógeno proveniente del Valle del Yaqui balancea este déficit produciendo un brote de fitoplancton (ver Anexo 2). Se calcularon que las pérdidas de N del Valle del Yaqui durante la irrigación pueden apoyar una brote de fitoplancton en el Golfo de California de 50-785 km², utilizando datos satelitales (Beman *et al.*, 2005).

Efectos negativos al Suelo

La cantidad de nitratos que se lixivia hacia el subsuelo depende del régimen de pluviosidad y del tipo del suelo. La mayoría de los suelos poseen abundantes partículas coloidales, tanto orgánicas como inorgánicas, cargadas negativamente, con lo que repelerán a los aniones, y como consecuencia, estos suelos lixiviarán con facilidad los nitratos. Por el contrario, muchos suelos tropicales adquieren carga positiva y por tanto, manifiestan una fuerte retención para los nitratos. La textura de los suelo es un factor importante en relación con la lixiviación, cuanto más fina sea la textura más capacidad de retención presentarán (UGR, 2013). En la figura 2 se muestra como al aumentar la dosis de fertilizante aumenta la lixiviación de los nitratos.

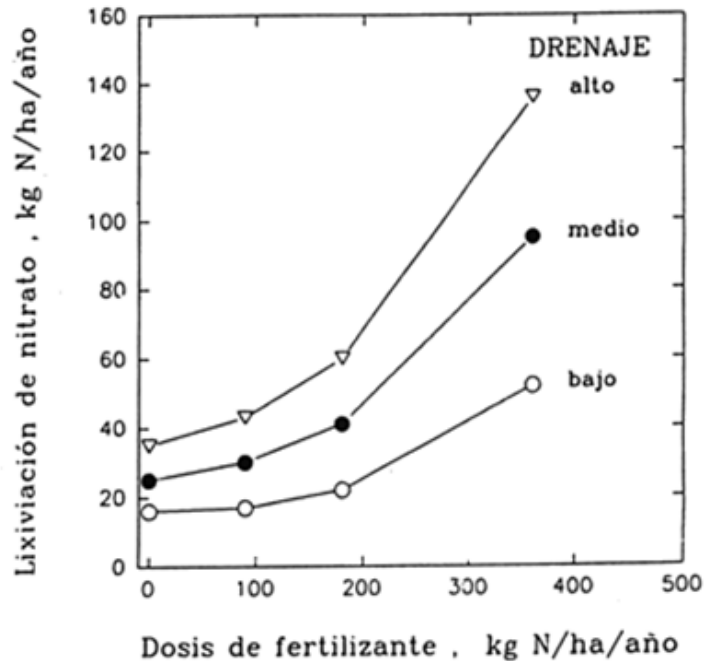


Figura 2.- La lixiviación de nitrato en función a la dosis de fertilizante nitrogenado y del volumen de drenaje en un cultivo de maíz en California.

Efectos negativos a la Salud

De alguna forma, los efectos mostrados anteriormente al agua, al suelo y a la atmosfera mediante la utilización en exceso de fertilizantes nitrogenados tienen un efecto negativo directa o indirectamente en la salud de las personas. El nitrógeno en su ciclo se transforma en nitratos que pueden llegar a las personas a través del agua contaminada, el problema de los nitratos radica en que pueden ser reducidos a nitritos en el interior del organismo humano.

Los nitritos producen la transformación de la hemoglobina a metahemoglobina. La hemoglobina se encarga del transporte del oxígeno a través de los vasos sanguíneos y capilares, pero la metahemoglobina no es capaz de captar y ceder oxígeno de forma funcional. La cantidad normal de metahemoglobina no excede el 2%. Entre el 5 y el 10% se manifiestan los primeros signos de cianosis. Entre el 10 y el 20% se aprecia una insuficiencia de oxigenación muscular y por encima del 50% puede llegar a ser mortal (Gonzales, 2011).

Instrumentos de manejo

Las problemáticas mencionadas anteriormente provenientes de la utilización en exceso de fertilizantes nitrogenados en el suelo agrícola, acarreado efectos negativos sobre la atmósfera, agua, suelo y salud de las personas. En la búsqueda de alternativas que minimicen los impactos en la agricultura se han buscado e implementado ciertos instrumentos a los cuales podemos llamar como tecnologías de mitigación. Éstas son técnicas de producción que evitan o minimizan la emisión de gases de efecto invernadero o que contribuyen a la captura de carbono en suelos y biomasa, ayudando así a reducir la problemática derivada del proceso de calentamiento global. (SAGARPA, 2009)

Entre las tecnologías que tienen un grado de mitigación se encuentra la Agricultura Orgánica es un sistema de producción integral basado en la diversidad de especies en producción, que utiliza insumos naturales, tierras de calidad o reconstituidas, prácticas de labranza y conservación de agua y suelo, prevención ecológica de plagas y enfermedades, entre otras prácticas, manteniendo un alto nivel de reciclaje de los materiales empleados, minimizando insumos externos, disminuyendo los riesgos de intoxicación para los trabajadores, sin usar aguas negras ni grises, eliminando la radiación en post-cosecha, no utilización de Organismos Genéticamente Modificados y sin dejar residuos tóxicos en los alimentos (Restrepo, 1997). Todas estas tecnologías mencionadas son una rama de la agricultura ecológica, cuyo principal objetivo es el de no utilizar o disminuir al máximo el uso de agroquímico.

También se encuentra la tecnología llamada biofertilizante, el cual es un producto biológico a base de microorganismos (bacterias y hongos promotores del crecimiento vegetal), cuya actividad fisiológica permite promover el crecimiento de las plantas, con lo cual es posible sustituir o al menos reducir el uso de agroquímicos, así como la contaminación generada por los mismos. Cuando el inóculo se aplica en partes específicas de la planta (semilla, tallo, hoja, raíz) o en el agua de riego, el biofertilizante también se conoce como bioinoculante (Loredo-Osti *et al.*, 2009).

Los microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV) también conocidas como PGPMs por sus siglas en inglés (Plant Growth Promoting Microorganisms), son capaces de ejercer un efecto benéfico sobre el crecimiento de las plantas (Kloepper y Schroth, 1978). Los principales efectos de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal se han asociado con efectos favorables en la emergencia, en el desarrollo de la raíz y en la acumulación de biomasa con el subsecuente incremento en rendimiento. Los principales mecanismos de acción por los cuales las bacterias PGPR pueden lograr estos efectos se presentan en la Figura 3.

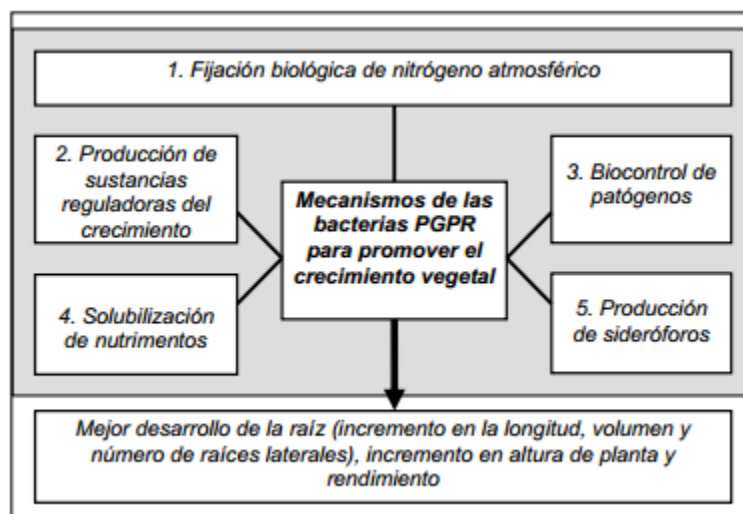


Figura 3.- Principales mecanismos de los BPCV.

Burkholderia caribensis XV

Es un género de bacterias del medio ambiente, algunas de las cuales se encuentran en el suelo (Achouak *et al.*, 1999) y agua (Vermis *et al.*, 2003) y en asociación con las plantas (Bevivino *et al.*, 1998;.. Balandreau *et al.*, 2001;.. Moulin *et al.*, 2001).

Algunos *Burkholderia* especies también tienen beneficios agrícolas. *Burkholderia caribensis XV* (de los Santos Villalobos, 2012) mostro promisorias capacidades de promoción de crecimiento vegetal, debido a su actividad de reducción de acetileno, ACC desaminasa y producción de sideróforo, así como la producción de ácido indol

acético, actividades reportadas como potenciadoras de crecimiento vegetal, mejorando la producción de cultivos (Tran-Van, 2000).

IV. HIPÓTESIS

La inoculación de *Burkholderia caribensis* XV, una BPCV, reduce la aplicación del fertilizante nitrogenado al trigo sin comprometer su rendimiento.

V. PROBLEMATICA

A partir de la revolución verde, las nuevas variedades de trigo mostraron un resultado positivo para los agricultores, aumentando la productividad de este cultivo de 2 a 6 toneladas por hectárea. Sin embargo, este aumento en la productividad condujo a efectos negativos a nivel económico, ambiental y a la salud de las personas, debido al incremento de la dosis de fertilizantes nitrogenado, de 50 a 250 kilogramos por hectárea.

VI. OBJETIVO GENERAL

Cuantificar la contribución de la inoculación de *Burkholderia caribensis* XV sobre la productividad del cultivo del trigo bajo diferentes dosis de nitrógeno aplicado, mediante el proceso de toma de decisiones.

VII. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

*Reproducir la cepa de *Burkholderia caribensis* XV en medio líquido enriquecido, ajuste de la concentración celular y su inoculación en el campo.

*Establecer el diseño de las parcelas experimentales de trigo mediante bloques al azar en parcelas anidadas, para la inoculación de la bacteria en estudio al trigo bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada.

*Analizar el impacto de los tratamientos aplicados considerando criterios de productividad, ambientales y económicos, a través del proceso de toma de decisiones.

VIII. METODOLOGÍA

Zona de Estudio

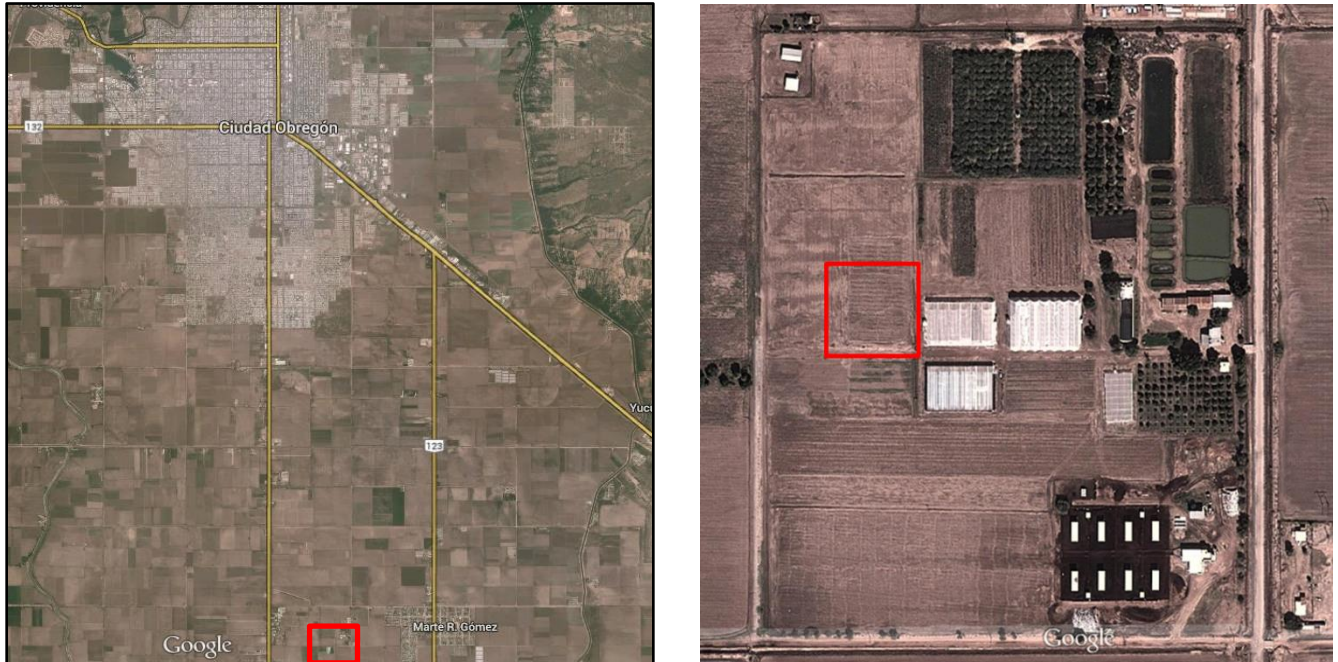


Figura 4. Localización del sitio experimental.

El Instituto Tecnológico de Sonora cuenta con un Centro Experimental de Transferencia de Tecnología 910 (CETT 910), el cual se encuentra ubicado una zona altamente agrícola –Valle del Yaqui- a 15km al sur de Cd. Obregón, Sonora, con coordenadas (27°21'57.2"N, 109°54'56.3"W). El experimento se llevó a cabo en una superficie de $\frac{1}{4}$ de hectárea, realizando un análisis de suelo previo al desarrollo del experimento con la finalidad de conocer las características edáficas del agro-sistema, los resultados se encuentran en el (anexo 3), la zona descrita se puede apreciar en la Figura 4 con un cuadro color rojo.

La siguiente investigación consta de cinco partes y se realizó como se muestra en la figura 5:

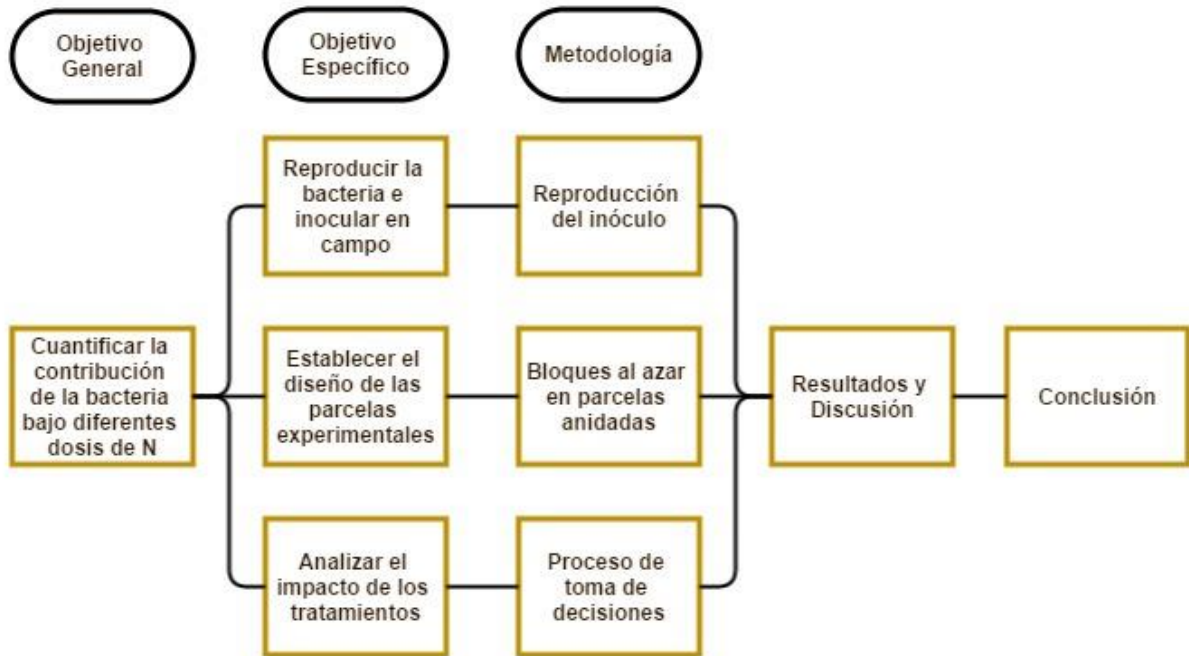


Figura 5. Diagrama de investigación.

Bloques al azar en parcelas anidadas

Los diseños experimentales que tienen varios tamaños de unidades experimentales (u.e.) son: diseños de mediciones repetidas, diseños de parcelas divididas, algunos diseños anidados y diseños que tienen combinaciones de ellos. La característica que distingue a estos tipos de diseños es que se utilizan más de un tamaño de u.e., cada tamaño de u.e. tiene sus propias estructuras de diseño y de tratamientos.

El diseño de parcelas divididas (split-plot) tiene su origen en aplicaciones en Agricultura, donde las parcelas grandes generalmente eran grandes áreas y las parcelas pequeñas áreas pequeñas dentro de las grandes, y a cada una de los dos tamaños de parcela le corresponde un tratamiento. Por ejemplo, ciertas variedades de cultivo se podían sembrar en áreas diferentes (parcelas grandes), una variedad en cada parcela. Luego cada área se divide en k parcelas pequeñas y cada una de estas

puede ser tratada con un tipo de fertilizante diferente. La variedad del cultivo es el tratamiento de la parcela grande y el fertilizante la parcela pequeña.

Este tipo de diseños se usa frecuentemente para experimentos factoriales. El principio general de este diseño experimental se basa en la asignación de un nivel de factor a la parcela principal (factor A), la cual se divide en sub-unidades o sub-parcelas (factor B) que reciben varios niveles de un factor adicional. En esta forma cada unidad principal se convierte en un bloque con respecto a los tratamientos asignados a las sub-unidades. Las parcelas divididas se utilizan generalmente para facilitar el manejo de un factor.

Reproducción de la bacteria.

La cepa XV, recuperada previamente de un stock liofilizado, fue sembrada en una caja Petri conteniendo agar nutritivo como medio de cultivo encubada durante tres días a 28°C. Después de su crecimiento una colonia de esta cepa fue inoculada en 250 ml de caldo nutritivo bajo las condiciones de cultivo antes mencionadas. Posteriormente, este stock fue transferido a un biorreactor de propelas conteniendo 20 litros del mismo medio de cultivo incubado a 28°C durante 7 días con una agitación de 300 rpm. Una vez concluido el periodo de incubación, la biomasa celular fue recuperada del medio de cultivo y resuspendida en agua hasta alcanzar una concentración de 1×10^8 UFC por mililitro.

Esta suspensión microbiana fue inoculada al suelo en los tratamientos correspondientes en el CETT 910.

Toma de decisiones

La toma de decisiones consiste en que alguien denominado decisor (o grupo de decisores), para alcanzar ciertos objetivos, debe determinar, conjuntamente con el apoyo de un analista de sistemas, la alternativa que cumpla en mayor medida con sus expectativas, es decir, su mejor decisión (Elineema, 2002).

Para Trewatha y Newport (1979), la toma de decisión implica la selección de un curso de acción de entre dos o más alternativas posibles, para así llegar a la solución de un problema dado. Para estos autores, las etapas del proceso de toma de decisiones incluyen:

1. Definir el problema de acuerdo a los objetivos perseguidos,
2. Identificar soluciones alternativas,
3. Analizar las posibles consecuencias de cada alternativa, y
4. Seleccionar una alternativa para su implementación subsiguiente.

Proceso de la toma de decisiones.

Las tres primeras fases del proceso decisorio constituyen la “estructuración del problema” y las dos últimas fases son el “análisis del problema”, las cuales se representan en la Figura 6.

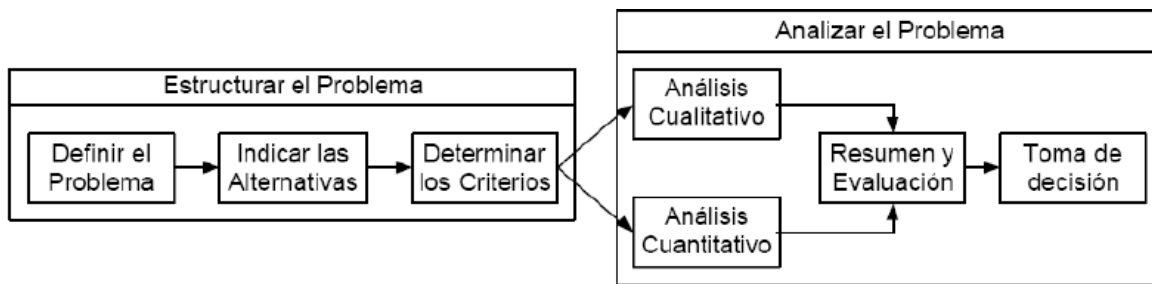


Figura 6. Proceso de toma de decisiones.

Fuente: a partir de Toskano (2005)

Para este caso de estudio en particular el proceso de toma de decisiones se realiza de la siguiente manera:

1. **Definir el problema:** La aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados al suelo agrícola.
2. **Indicar soluciones alternativas:** Las alternativas se describen en el desarrollo del experimento donde se realizaron diferentes aplicaciones de nitrógeno en combinación con una bacteria.

3. **Determinar criterios.** Los resultados obtenidos se evaluaron de acuerdo a 3 criterios, los cuales son el ambiental, el económico y el de rendimiento. Lo anterior con la finalidad de obtener un resultado en el que estos tres criterios coexistan. También debemos tener en cuenta las posibles consecuencias de cada alternativa.

4. **Análisis cuantitativo o cualitativo.** En este experimento se llevó a cabo un análisis cuantitativo, con la finalidad de conocer la contribución específica de cada uno de los tratamientos evaluados.

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Objetivo 1

El crecimiento y reproducción de la bacteria en el laboratorio se logró con éxito al no presentarse contaminación en el medio de cultivo, las cuales posteriormente serian removidas de las cajas Petri (figura 7) para ser depositadas en un contenedor y dirigidas al campo.

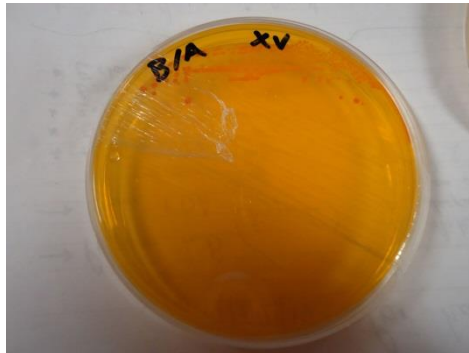


Figura 7. *Burkholderia caribensis* XV en caja Petri.

Objetivo 2

Mediante la técnica de bloques al azar en parcelas anidadas se realizó el siguiente diagrama, el cual sirvió como punto de guía para realizar el trazado sobre el suelo de cultivo en el CETT 910, el mapa se puede apreciar en la figura 8.

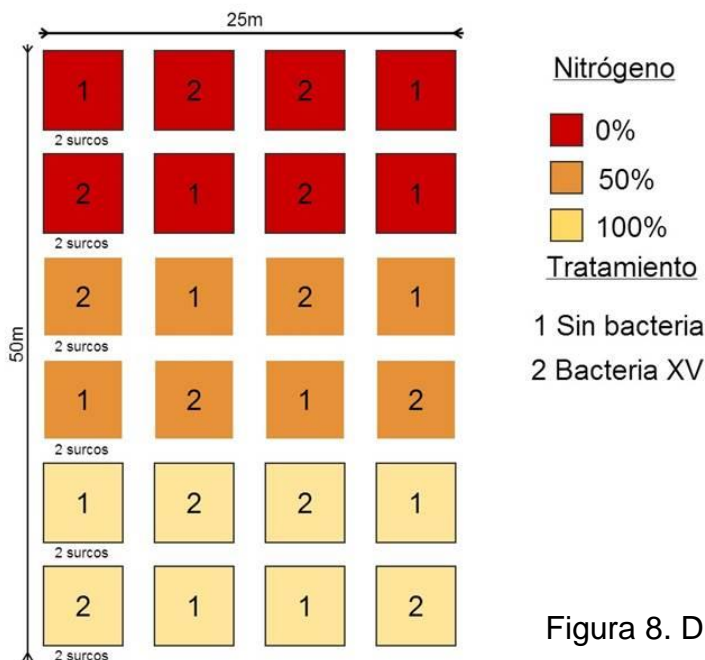


Figura 8. Diagrama de los bloques al azar.

La división de las 24 pequeñas parcelas sobre el área de 1/8 de hectárea, la aplicación de las distintas dosis de nitrógeno y la aplicación de la bacteria *Burkholderia caribensis* XV en el CETT 910 se realizó con éxito y en tiempo, lo cual dio como resultado, 5 meses después, el crecimiento del trigo sano (figura 9), no se obtuvieron parcelas quemadas ni destruidas por animales, lo cual permitió recolectar las muestras para su posterior análisis y obtener los resultados de grano y paja.



Figura 9. Trigo antes de la cosecha.



Figura 10. Parcela útil

En cada cuadrante o parcela se seleccionaron los dos surcos centrales y con una hoz se cortaron cuatro metros de la base del trigo dejando solamente 50 cm de cada extremo como se muestra en la figura 10. Las espigas se ataron y clasificaron para después ser transportadas hacia la trilladora la cual se encargó de separar el grano de las espigas, una vez separadas se introdujo los granos en costales y se enlistaron para su posterior análisis.

Objetivo 3

Una vez analizadas las muestras y realizado el cálculo para la obtención de toneladas por hectárea de semilla y paja, se puede observar en la tabla 3 los resultados obtenidos del experimento en trigo, los cuales fueron los siguientes:

Tabla 3. Resultados tonelada por hectárea de semilla y paja.

Alternativa	Nitrógeno	Tratamiento	Semilla kg/ha	Paja kg/ha
A	0%	Negativo	4.4	4.9
B	0%	Bacteria	3.7	5.2
C	50%	Negativo	5.1	5.8
D	50%	Bacteria	4.3	6
E	100%	Negativo	3.9	5.8
F	100%	Bacteria	4.8	5.3

Cabe resaltar que en las alternativas A y C, el rendimiento fue mayor que en donde se inoculó con la bacteria (alternativas B y D). La alternativa C, donde se aplicó la mitad de fertilizante, superó los tratamientos con 100% de nitrógeno e incorporación de la bacteria (E y F).

Con base en los resultados que se muestran en la tabla 3, y según los criterios mencionados anteriormente en donde consideramos la reducción de los impactos al ambiente, el ahorro económico y el rendimiento del trigo, podemos seleccionar la alternativa en la cual se aplica 50% de nitrógeno y no se aplica bacteria a la parcela (alternativa C).

De esta manera obtenemos un buen rendimiento por hectárea de semilla (5,1 toneladas por hectárea), se reduce la aplicación de nitrógeno al suelo a la mitad, lo cual podría mitigar los problemas ambientales que se presentan con el uso excesivo de fertilizante. Se reduciría la infiltración del nitrógeno que va hacia las costas, reduciendo así la eutrofización y con ello la proliferación de algas que acaban con el oxígeno en el agua, también se reducirían las emisiones de óxido nitroso a la atmosfera, que es uno de los gases del efecto invernadero que tiene un efecto 300 veces mayor que el CO₂, el cual nos conduce a un calentamiento global, y finalmente hablando económicamente, el agricultor se ahorraría la mitad del dinero que gasta en nitrógeno y, en algunos casos, un ahorro en combustible.

En el caso de la bacteria el efecto en este experimento no fue positivo, lo que nos lleva a pensar que para este caso de estudio el problema no es el nitrógeno, sino la materia orgánica presente en el suelo. La materia orgánica es considerada un indicador de salud del suelo y tiene un efecto positivo en la productividad (Sainz, 2011). La materia orgánica en el suelo es una fuente de alimentos para los microorganismos y contribuye a la biodiversidad del suelo actuando como depósito de nutrientes (JRC, 2009).

Debido a lo anterior y a los resultados obtenidos mostrados en la tabla 3, podemos inferir que el principal problema se debió al poco porcentaje de materia orgánica (1.08%) presente en los suelos del valle del yaqui. Como se puede apreciar en los tratamientos B y D las bacterias no pudieron tomar el carbono del suelo y lo tuvieron que extraer de la planta, resultando así perjudicial para la misma, lo que llevó a un menor rendimiento con la inoculación de la bacteria. Otro problema derivado de la poca materia orgánica es que ésta forma los suelos, y al existir un suelo deteriorado el NO_3 , que está cargado negativamente, se mueve libremente con el agua del suelo y no es retenido por las cargas negativas de éste (Murrell, 2009).

X. CONCLUSIÓN

- Para este caso de estudio y con las condiciones del suelo, el cual cuenta con poca materia orgánica (1.08%), la aplicación de *Burkholderia caribensis* XV resultó perjudicial para el desarrollo de la planta, debido a ésto los resultados obtenidos fueron negativos.
- Con base en los resultados obtenidos, la aplicación excesiva de nitrógeno (100%), no es necesaria para el buen rendimiento del trigo, se demostró que al aplicar la mitad de nitrógeno se obtiene un rendimiento similar a un costo menor.

XI. PERSPECTIVA

- Bajo las condiciones específicas de este experimento, y con base a los resultados obtenidos se desea realizar nuevos experimentos, ésta vez combinando la inoculación de la bacteria y la aplicación de materia orgánica.
- Realizar un ciclo de vida de la bacteria (cuánto cuesta reproducirla a gran escala).
- Realizar una mejor técnica en la aplicación de la urea, hará que no exista una oxidación tan rápida de amonio a nitratos, lo que reducirá las pérdidas de este fertilizante tanto en gas N_2O así como en problemas de lixiviación.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez-Borrego, S et. al. (1978). Nutrientes in el Golfo de California. Ciencias Marinas 5:53–71.

Antoun, H., y D. Prevost. (2006). Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. En: Z.A. Siddiqui (Ed.). PGPR: Biocontrol and Biofertilization, Springer, Dordrecht, pp. 1–38

Aquino, P. (1998). La adopción del método de siembra de trigo en surcos del Valle del Yaqui, Sonora, México. CIMMYT, México.

Beman, J. et. al. (2005). Agricultural Runoff Fuels Large Phytoplankton Blooms in Vulnerable Areas of the Ocean. Nature 434: 211–14.

Blackman, J., Payne, P., (1987). Grain Quality. pp. 455-486. In: Wheat Breeding. Its Scientific Basis. Ed. F. G.H.Lupton. New York, USA. 566 p.

Conway, G. (1997). The Doubly Green Revolution: Food for All in the 21st Century. London, UK: Penguin.

Curtis, B.C. 2002. Wheat in the world. pp. 1-17. In: B.C.

de los Santos-Villalobos, S., de-Folter, S., Délano-Frier, J.P., Gómez-Lim, M.A., Guzmán-Ortiz, D. A., Peña-Cabriales, J.J. (2013). Growth promotion and flowering induction in mango by *Burkholderia* and *Rhizobium* inoculation: morphometric, biochemical and molecular events. Journal of Plant Growth Regulation. 32(3):615-627

Departamento de Edafología y Química Agrícola Universidad de Granada (2013). Contaminacion por fertilizantes. España. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/conta/tema14/nitrog.htm>, accesado el 19 de mayo de 2014.

FAO (1999). Marco de Referencia e Indicadores Medioambientales de Presión - Estado – Respuesta. Disponible en <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/es/lead/toolbox/Refer/EnvIndi.htm>,
Accesado el día 04 de mayo de 2014.

FAO (2002). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s05.htm>, Visitado el 07 de mayo de 2014.

FAO, (2002). Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/W0073S/w0073s0d.htm>, accesado el 25 de febrero de 2014.

FAO, 2002. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s11.htm>, accesado el 27 de febrero de 2014.

Fischer, R., Wall, C. (1976). Wheat Breeding in Mexico and Yield Increases. Journal of the Australian Institute of Agricultural Science 42(3): 139–48.

Freebarin, D. (1963). Relative Production Efficiency between Tenure Classes in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. Journal of Farm Economics 45(5): 1150–60.

Gonzales, A. (2007). Emisiones de gases de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global: El sector agropecuario. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 11, 2007. Impreso en la Argentina.

Gonzales, F. (2011). Contaminación por fertilizantes: un serio problema ambiental. Artículos relacionados con el desarrollo rural y la agricultura sostenible. Disponible en <http://fgonzalesh.blogspot.mx/2011/01/contaminacion-por-fertilizantes-un.html>,
accesado el día 4 de abril de 2014.

ICCA International Congress and Convention Association (2009). Cambio climático y la agricultura. Disponible en <http://www.iica.int/Esp/Programas/RecursosNaturales/Documentos%20Recursos%20Naturales/CAMBIO%20CLIM%C3%81TICO%20Y%20LA%20AGRICULTURA.pdf>, accesado 17 de febrero de 2014.

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2007). Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, and L. A. Meyer, eds. Contribution of Working Group 3 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, and New York: Cambridge University Press.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Annex I., M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.

JRC, Comunidades Europeas (2009). Agricultura sostenible y conservación de los suelos, Procesos de degradación del suelo.

Kloepper, J., Schroth, M. (1978). Plant growth promoting on radishes. Proceedings of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria. INRA. Angers, France. v2, pp. 879-882

Loredo-Osti, et. al. (2009). Importancia de las Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal en la Producción de Cultivos. Primer simposium internacional de agricultura ecológica.

Matson, P. (2012). Seeds of sustainability : Lessons from the birthplace of the green revolution. Island Press, Washington, DC.

Matson, P., Parton, W., Power, A., Swift, M. (1997). Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science* 277: 504–9.

Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD), 1993. OECD core set of indicators for environmental performance reviews. A synthesis report by the Group on the State of the Environment. Environment monographs, n° 83.

Ramírez, A. (2007). El proceso de análisis jerárquico con base en funciones de producción para planear la siembra de maíz temporal. Edo. De Mexico

RAP-AL Uruguay, 2010. Contaminación y eutrofización del agua. Ana Monterroso de Lavalleja, Montevideo.

Restrepo, J. (1997). Manual de Curso taller de Agricultura orgánica, en el Ocotil, Edo. de Mexico. Junio 1997, p 17.

Robertson, G., Vitousek, P. (2009). Nitrogen in Agriculture: Balancing the Cost of an Essential Resource. *Annual Review of Environment and Resources* 34: 97–125.

Robles-Sosa, S., Bautista-Peña, R., Fuentes-Dávila, G. (2005). Efecto de la Molienda de Trigo Harinero (*Triticum aestivum* L.) y Trigo Duro (*Triticum durum* Desf.) sobre la Germinación de Teliosporas de *Tilletia indica* Mitra. *Revista Mexicana de Fitopatología*, vol. 23, núm. 2, Sociedad Mexicana de fitopatología, A.C. México.

SAGARPA (2009). Secretaría de Energía: Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. Disponible en http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/cambioclimatico/Tecnologias_mitigacion.pdf, accesado el día 21 de mayo de 2014.

Sainz Rozas H.R., H.E. Echeverría y H. Angelini (2011). Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana Argentina. Una publicación de International Plant Nutrition Institute (IPNI).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT, (2006). Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero.

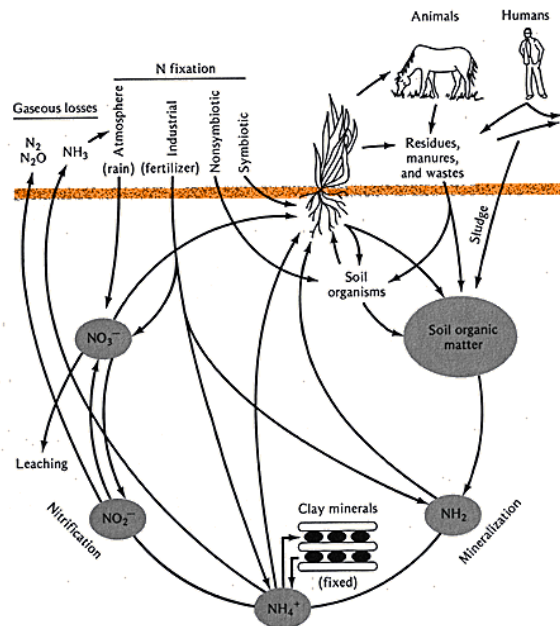
Toskano H. (2005). El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Facultad de Ciencias Matemáticas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Tran-Van, B. V. (2000). Repeated beneficial effects of rice inoculation with a strain of *Burkholderia vietnamiensis* on early and late field components in low fertility sulphate acid soils of Vietnam. *Plant Soils*, 218: 273-284.

Vitousek, P., et. al. (2009). "Nutrient Imbalances in Agricultural Development." *Science* 324: 1519–20.

ANEXOS

Anexo 1.- Ciclo del Nitrógeno.



Main portions of the nitrogen cycle. Chemical fertilizers from industrial nitrogen fixation are an increasingly important source of this element. Tomado de: Brady, N. Macmillan Pub.Co. 1984.

Puede realizarse bajo diferentes vías:

Fijación biológica simbiótica. El nitrógeno atmosférico es fijado por ciertos microorganismos en el suelo que actúan de manera simbiótica con las plantas (como plantas hospedadoras actúan, preferentemente, las leguminosas). El mecanismo es complejo, básicamente se admite que el N_2 es transformado a NO_3^- por la actividad de bacterias del género *rhizobium* y es incorporado a estos organismos bajo la forma de aminoácidos. En ausencia de fertilizantes, éste es el proceso esencial para el crecimiento de las plantas.

Fijación biológica asimbiótica. Ciertos microorganismos pueden fijar nitrógeno sin recurrir a comportamientos simbióticos. Se trata de microorganismos heterótrofos frente al carbono y lo tienen que tomar de los azúcares, almidón, celulosas. Son las bacterias heterótrofas, bacterias fotosintéticas y algas azules-verdes.

Fijación no biológica. El nitrógeno puede ser arrastrado directamente al suelo por las aguas de lluvia. Representa una vía muy poco importante frente a la fijación biológica.

Nitrificación. Es el proceso correspondiente a la oxidación del ión amonio a nitrato. Se desarrolla en dos etapas. En un primer paso, el ión amonio es oxidado a nitrito (reacción catalizada por bacterias nitrosomas) y en la segunda fase el nitrito pasa a nitrato (por la acción de la bacteria nitrobacter).

Reducción del ión nitrato. En ausencia de oxígeno (suelos saturados en agua) el nitrato evoluciona a amonio, interviniendo en el proceso reductor las bacterias nitrato-reductasa, siendo el nitrato el que actúa de aceptor de electrones en la oxidación de la materia orgánica.

Desnitrificación. Es otro proceso de reducción del ión nitrato, pero esta vez a nitrógeno molecular. En suelos completamente saturados en agua se produce un empobrecimiento en oxígeno y algunos organismos anaeróbicos tienen capacidad de obtener el oxígeno de los nitratos y nitritos con liberación simultánea de nitrógeno y de óxido nitroso.

Inversamente el nitrógeno mineral puede ser utilizado por los microorganismos del suelo y ser transformado en nitrógeno orgánico. Esta transformación se llama **inmovilización biológica**.

Anexo 2. Eutrofización.

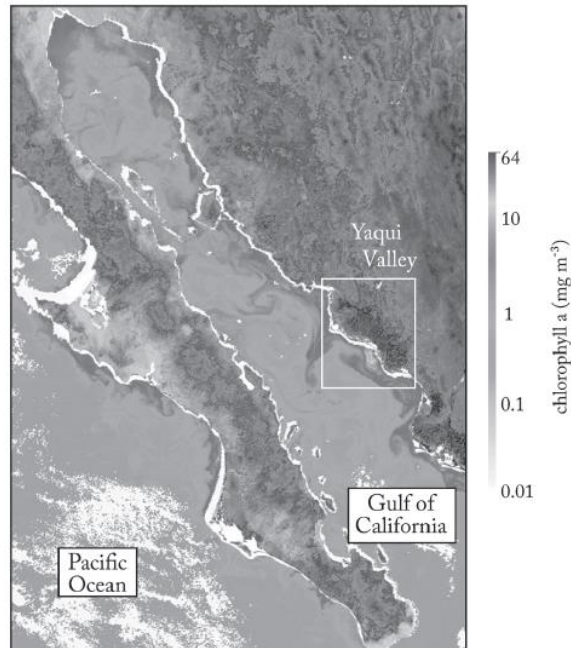



FIGURE 10.6 Satellite imagery taken one day after peak late-season irrigation shows biological activity on land (MODIS Aqua; NDVI) and in the ocean (SeaWiFS; chlorophyll a). Phytoplankton blooms, indicated by highly elevated chlorophyll a values, are clearly visible in the Gulf of California off the coast of the Yaqui Valley.

Anexo 3. Análisis de suelo.

 FERTILIZANTES TEPEYAC S.A. DE C.V. LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, AGUA Y PLANTAS. MIGUEL ALEMAN Y NAINARI CD. OBREGON, SONORA MEX. TELEFONO : (644) 414-7700 , FAX: (644) 414-7700		Página : 1 Fecha : 09/12/2013 Hora : 01:01 p.m. ANALISIS DE SUELOS Reporte No. : 9304	
Agricultor : ENRICO YEPEZ	Predio :	Tipo suelo : BARRIAL COMPACTADO	
Domicilio : CONOCIDO	Block : 910 Lotes:	Cultivo Ant. ALGODON	
Ciudad : CIUDAD OBREGON, SON.	Hectareas : 0	Cultivo Act. TRIGO	
PRUEBA : 31178	PRUEBA : 31179	PRUEBA : 31180	
ID: M-1 CET 1	ID: M-2 CET 2	ID: PROMEDIO	
Text.: FRANCO ARCILLOSO	Text.: FRANCO ARCILLOSO	Text.:	
PARAMETROS	PARAMETROS	PARAMETROS	
C. E. (mS/cm) 0.9 N	C. E. (mS/cm) 0.8 N	C. E. (mS/cm) 0.8 N	
pH 7.65 LAL	pH 7.80 MAL	pH 7.72 LAL	
M. O. (%) 1.03 M	M. O. (%) 1.14 M	M. O. (%) 1.08 M	
CaCO3 (%) 2.0 LC	CaCO3 (%) 2.3 LC	CaCO3 (%) 2.1 LC	
C. H. (cm/hr) 4.1 MD	C. H. (cm/hr) 3.1 MD	C. H. (cm/hr) 3.6 MD	
Saturación (%) 46 A	Saturación (%) 46 A	Saturación (%) 46 A	
ELEMENTOS MAYORES	ELEMENTOS MAYORES	ELEMENTOS MAYORES	
Nitrogeno (Kg) 47 MB	Nitrogeno (Kg) 51 B	Nitrogeno (Kg) 49 MB	
Fosforo (Kg/Ha) 74 MA	Fosforo (Kg/Ha) 78 MA	Fosforo (Kg/Ha) 76 MA	
Calcio (Kg/Ha) 20,520 MA	Calcio (Kg/Ha) 21,240 MA	Calcio (Kg/Ha) 20,880 MA	
Magnesio (Kg) 1,872 MA	Magnesio (Kg) 1,944 MA	Magnesio (Kg) 1,908 MA	
Potasio (Kg/Ha) 1,872 MA	Potasio (Kg/Ha) 2,088 MA	Potasio (Kg/Ha) 1,980 MA	
Sodio (Kg/Ha) 3,096 MA	Sodio (Kg/Ha) 3,240 MA	Sodio (Kg/Ha) 3,168 MA	
Ca / Mg (4-15) 11.0	Ca / Mg (4-15) 10.9	Ca / Mg (4-15) 10.9	
Mg / K (2.5-15) 1.0	Mg / K (2.5-15) 0.9	Mg / K (2.5-15) 1.0	
Ca / K (10-40) 11.0	Ca / K (10-40) 10.2	Ca / K (10-40) 10.5	
(Ca + Mg) / K (8-30) 12.0	(Ca + Mg) / K (8-30) 11.1	(Ca + Mg) / K (8-30) 11.5	
CIC (meq/100g) 37.8	CIC (meq/100g) 39.3	CIC (meq/100g) 38.6	
MICRONUTRIMENTOS	MICRONUTRIMENTOS	MICRONUTRIMENTOS	
Hierro (ppm) 4.30 MB	Hierro (ppm) 2.00 MB	Hierro (ppm) 3.15 MB	
Manganeso (ppm) 9.90 M	Manganeso (ppm) 2.70 MB	Manganeso (ppm) 6.30 B	
Zinc (ppm) 0.56 B	Zinc (ppm) 0.18 MB	Zinc (ppm) 0.37 MB	
Cobre (ppm) 3.94 MA	Cobre (ppm) 0.32 B	Cobre (ppm) 2.13 MA	
Boro (ppm) 0.63 B	Boro (ppm) 0.35 MB	Boro (ppm) 0.49 B	