

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



EFFECTO DE LA ADICIÓN DE ALGAS MARINAS EN LAS CARACTERÍSTICAS  
DE TRES SUELOS Y LA PRODUCCIÓN DE CO<sub>2</sub>

## Reporte de Estancia

Que presenta GABRIELA UBALDO VÁZQUEZ

como requisito parcial para obtener el Diploma como  
ESPECIALISTA EN MANEJO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES  
DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2015

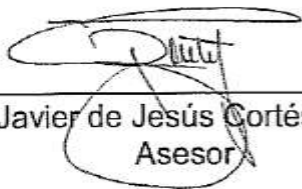
EFFECTO DE LA ADICIÓN DE ALGAS MARINAS EN LAS CARACTERÍSTICAS  
DE TRES SUELOS Y LA PRODUCCIÓN DE CO<sub>2</sub>

Reporte de Estancia

Elaborada por GABRIELA UBALDO VÁZQUEZ como requisito parcial para  
obtener el Diploma como Especialista en Manejo Sustentable de Recursos  
Naturales de Zonas Áridas y Semiáridas con la supervisión y aprobación del  
Comité de Asesoría




Dr. Luis Samaniego Moreno  
Asesor principal



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho  
Asesor



Dr. Jorge Méndez González  
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Subdirector de Posgrado

## AGRADECIMIENTOS

A **Jehová** porque todo el reconocimiento es para ti. Ya que en tu infinita bondad me has ayudado a potenciar mis capacidades y habilidades para poder culminar con este trabajo. Como bien lo menciona Lucas 11:13 “Por lo tanto, si ustedes, aunque son inicuos, saben dar buenos regalos a sus hijos, ¡con cuánta más razón dará el Padre en el cielo espíritu santo a los que le piden!”.

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que directa o indirectamente con su ayuda han colaborado a lograr la meta que me tracé en mi vida y la cual no la hubiera podido alcanzar sin su ayuda.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)** por brindarme la oportunidad y formarme profesionalmente, además de ser como un segundo hogar.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** (número de becario: 437422) por el apoyo económico otorgado para la realización de este trabajo.

Al **Dr. Luis Samaniego Moreno**, por el valioso tiempo dedicado a esta servidora y todo el apoyo brindado en la realización de este reporte.

Al **Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho y Dr. Jorge Méndez González**, por sus opiniones, aportaciones y contribución en la redacción de este reporte.

Al **Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV Unidad Saltillo)** y en especial a la **Dra. María de Lourdes Virginia Díaz Jiménez, Dr. Salvador Carlos Hernández y MC. José Antonio Villarreal Sánchez**, por la oportunidad que me brindaron al trabajar en este proyecto.

A la empresa **Palau Bioquim S.A. de C.V.** por haberme permitido involucrarme en actividades que desarrollan y a la vez efectuar el desarrollo del proyecto.

En especial al **MC. José Omar Cárdenas Palomo** por su atención incondicional, por la confianza depositada en mi persona, por tus conocimientos brindados; por su dedicación y empeño en todo lo que realiza siendo para mí un ejemplo a seguir. Así como por tu valiosa amistad, para usted mi más Sincero y Profundo Agradecimiento. “Gracias” (1Tesalonicenses 5:18).

A mis compañeros de generación y de estancia porque a su lado no hubo momentos para sentirme triste o solo, porque siempre tuvieron el consejo, la chispa, el chiste, y el ingenio perfecto para hacer sentir bien a cualquiera, por el aprendizaje que obtuve en la convivencia diaria con cada uno de ustedes, **Ing. Milagros Monserrat Saucedo Moreno, Q.F.B. Sandy Gabriela García Torres, Ing. Rosaura Monroy Becerril y Q.F.B. Marcos Jesús Santillán Saldaña.**

## DEDICATORIA

A **Jehová** por darme “vida y aliento” (Hechos 17:25) hasta el día de hoy. Porque como un “Padre amoroso me has acogido” (Salmos 27:10) brindándome día a día “gozo y felicidad” incluso en momentos difíciles (Salmo 34:8) por eso y mucho más “Digno eres tú, Jehová, nuestro Dios mismo, de recibir la gloria y la honra y el poder, porque tú creaste todas las cosas, y a causa de tu voluntad existieron y fueron creadas” (Revelación 4:11).

A mí querida madre **Minerva Vázquez Roque**, por tu amor incondicional y abnegación para cuidarme desde la infancia, nunca podré pagar todo lo que me has dado para ser feliz. Ahora que tengo el maravilloso privilegio de ser madre pude comprender tu sentir al tenerme, y valoro más todo el amor y el esfuerzo que hiciste, para convertirme en quien soy ahora. Le doy gracias a Jehová por bendecirme con tu presencia y lo único que deseo es poder contribuir a tu felicidad como dice Proverbios 23:24, 25: “El padre de un justo sin falta estará gozoso; el que llega a ser padre de un sabio también se regocijará en él. Tu padre y tu madre se regocijarán, y la que te dio a luz estará gozosa.” TE AMO

A mis queridas hermanas **Lizbeth Ubaldo Vázquez y Anahí Rangel Vázquez**, por ser mis mejores amigas, y a pesar de que hemos pasado tiempos difíciles siempre hemos sabido reír de verdad. Se cumplen en ustedes las palabras de Proverbios 17:17 “Un compañero verdadero ama en todo tiempo, y es un hermano nacido cuando hay angustia”. Mi amor por ustedes es grande y sin condición. No hay mayor deleite que compartir mi vida a sus lado.

A ti querido esposo **Yorfe Pérez López**, por acompañarme por los distintos caminos del amor, por dejarme saborearlos a tu lado, por dejarme hacer locuras por el grandioso hecho de estar enamorada. Eres mi inspiración y la bella razón por la cual deseo siempre vivir contigo y con la ayuda de Jehová así será porque “si alguien pudiera subyugar a uno solo, dos juntos podrían

mantenerse firmes contra él. Y una cuerda triple no puede ser rota en dos pronto” (Eclesiastés 4:12).

A mi amado hijo **Caleb Pérez Ubaldo**, porque contigo percibí que solo Jehová en su infinita sabiduría es el artífice del milagro de la vida como bien lo menciona Salmo 139:13,14 “Me tuviste cubierto en resguardo en el vientre de mi madre. Te elogiaré porque de manera que inspira temor estoy maravillosamente hecho. Tus obras son maravillosas”. Tú “eres una herencia de parte de Jehová” y “el fruto del vientre es un galardón” (Salmo 127:3.). Desde que llegaste a nuestras vidas, todos nuestros días se llenaron de luz y color. Saber que eres una parte muy especial de mí, ha hecho que le encuentre un nuevo sentido a mi existir. Te amamos incondicionalmente.

# ÍNDICE

<b>Sección</b>	<b>Página</b>
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	v
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. Suelo	6
4.1.1 Características de los Suelos	7
4.1.1.1 Potencial de Hidrógeno (pH)	7
4.1.1.2 Materia Orgánica	8
4.1.1.3 Carbonatos	9
4.1.1.4 Conductividad Eléctrica	10
4.1.2 Microbiología del Suelo	11
4.1.2.1 Hongos	13
4.1.2.2 Bacterias	14
4.1.2.2.1 Bacterias Halófilas	15
4.1.2.3 Microorganismos Aerobios de Vida Libre- Fijadores de Nitrógeno	16
4.2 Agotamiento del Suelo	19
4.2.1 Contaminación del Suelo	20
4.2.1.1 Contaminación con Fertilizantes Sintéticos	20
4.2.2 Efectos de la Contaminación del Suelo	22

4.3 Agricultura Sustentable	23
4.4 Biofertilizantes	25
4.4.1 Perspectivas de los Biofertilizantes	25
4.4.2 Microorganismos Utilizados como Biofertilizantes	26
4.5 Algas Marinas	27
4.5.1 Cualidades Nutritivas de las Algas	29
4.5.2 Usos de las Algas	29
4.5 Algas Marinas y su Uso en la Agricultura	32
4.6.1 Efecto de las Algas	34
4.6.1.1 Sobre el Suelos	34
4.6.1.2 Sobre las Plantas	35
4.7. AlgaEnzims®	36
5. DESARROLLO DE ACTIVIDADES	38
5.1 Establecimiento del Experimento	38
5.1.1 Ubicación del Experimento	38
5.1.2 Obtención de Suelos	39
5.1.3 Acondicionamiento del Reactor	41
5.1.4 Diseño Experimental	41
5.1.5 Aplicación de los Tratamientos	42
5.2 Variables Evaluadas	42
5.2.1 Aislamiento y Cuantificación Microbiológica del Producto	42
AlgaEnzims® y del Suelo	
5.2.2 Carbonatos	44
5.2.3 Materia Orgánica	46
5.2.4 Potencial de Hidrógeno (pH) y Conductividad Eléctrica	47
5.2.5 Producción de CO <sub>2</sub>	48
5.3 Actividades Extras Pertinentes a la Empresa Palau Bioquim	49
5.3.1 Inventario de Laboratorio	49
5.3.2 Visita a Huertos para la Demostración de Productos	49
6. RESULTADOS	51



6.1 Variables Evaluadas	51
6.1.1 Aislamiento y Cuantificación Microbiológica del Producto AlgaEnzims® y del Suelo	51
6.1.2 Carbonatos	52
6.1.3 Materia Orgánica	52
6.1.4 Potencial de Hidrógeno (pH) y Conductividad Eléctrica	53
6.1.5 Experiencia Profesional	54
7. CONCLUSIONES	55
8. REFERENCIAS	56

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Composición del extracto concentrado de algas marinas AlgaEnzims®	37
2	Cuantificación de los diferentes grupos de microorganismos presentes en AlgaEnzims®	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	AlgaEnzims®	36
2	Localización del Invernadero donde se Estableció el Experimento	39
3	Localización de donde se Obtuvieron los Tres Tipos de Suelo	40
4	Establecimiento de los Reactores y Macetas	41
5	Aislamiento y Cuantificación de Diferentes Grupos Microbianos	44
6	Determinación de Carbonatos	45
7	Determinación de Materia Orgánica	47
8	Determinación de pH y CE	48
9	Cromatografía de Gases	49
10	Visita a Viñedo	50

## 1. INTRODUCCIÓN

La sobreexplotación del suelo, en conjunto con el uso excesivo de maquinaria y agroquímicos, el riego por aguas que generan procesos de salinización y la falta de incorporación de materia orgánica, han conducido a la degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas que determinan la capacidad productiva de los suelos (Viteri, 2002).

Es por eso que se deben promover acciones orientadas a una agricultura sustentable la cual consiste en mantener la producción sin deterioro del medio ambiente. El aumento de la concientización sobre el cuidado del medio ambiente y la evidencia del deterioro ambiental que causan los agroquímicos ha hecho que los productores agrícolas, vean como buena alternativa la aplicación de los biofertilizantes. En este sentido, los biofertilizantes constituyen un componente vital de los sistemas sostenibles, ya que son un medio económicamente atractivo y aceptable de reducir los insumos externos y de mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos (Elein *et al.*, 2005). Dentro de ellos, se encuentra la adición de algas al suelo agrícola siendo una alternativa bien reconocida (Aitken y Senn, 1965; Button y Naves, 1964; Senn, 1987; Verkleij, 1992).

Al haber una estrecha relación de las líneas de investigación de la Especialidad cursada en Manejo Sustentable de Recursos Naturales de Zonas Áridas y Semiáridas que nace de la necesidad de proteger y mantener los ecosistemas por medio de establecer cambios de conducta, normas, leyes e instrumentos económicos necesarios para asegurar el desarrollo sustentable (UAAAN, 2015). En congruencia el CINVESTAV (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional) Unidad Saltillo cuenta con la Maestría en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía que tiene como objetivo formar recursos humanos especialista en esta misma área (CINVESTAV, 2015). Conjuntamente la empresa Palau Bioquim S.A. de C.V. consciente del constante deterioro del suelo y agua particularmente, están

comprometidos a la constante investigación y desarrollo de productos que van con la agricultura orgánica y sustentable favoreciendo el mejoramiento y la conservación del medio ambiente (Palau Bioquim, 2015). Surge la idea de trabajar en conjunto con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de Algaenzims® en las características de tres tipos de suelo (de distinto contenido de carbonatos) y la liberación de CO<sub>2</sub>.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Participar como practicante en una organización laboral para adquirir experiencia profesional y desarrollar aprendizajes complementarios a los dados en la Especialidad cursada

Evaluar el efecto de la aplicación de Algaenzims® en las características de tres tipos de suelo (de distinto contenido de carbonatos) y la producción de CO<sub>2</sub>

#### 2.1.1 Objetivos Específicos

1. Realizar actividades propias de una empresa y de investigación para el aprendizaje.
2. Aislar y cuantificar los diferentes microorganismos presentes en el producto AlgaEnzims® y suelos.
3. Observar los cambios edáficos que se generen en los distintos suelos al ser tratados con AlgaEnzims® mediante las siguientes determinaciones
  - a. Conductividad Eléctrica.
  - b. Potencial de Hidrógeno.
  - c. Carbonatos
  - d. Materia Orgánica.
4. Determinar bajo qué condiciones se promueve la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera cuando se adicionan algas como mejoradores de suelos.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La creciente demanda de alimentos para una acelerada población en desarrollo, constituye una enorme fuente de presión sobre los ecosistemas naturales. El avance en el agotamiento de los recursos naturales, debido al uso de prácticas inadecuadas en la agricultura convencional continua siendo una de las principales preocupaciones. Entre las pérdidas, la de mayor impacto es el agotamiento del suelo, ya que este recurso representa la base de la producción de alimentos (Méndez y Viteri, 2007). La sobreexplotación del suelo, en conjunto con el uso excesivo de maquinaria y agroquímicos, el riego por aguas que generan procesos de salinización y la falta de incorporación de materia orgánica, han conducido a la degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas que determinan la capacidad productiva de los suelos (Viteri, 2002).

Entre los agroquímicos se encuentran los fertilizantes sintéticos. El nitrógeno es el nutrimento aplicado más extensivamente como fertilizante, seguido por el fósforo y potasio. Los fertilizantes nitrogenados se caracterizan por su baja eficiencia en su uso por los cultivos, misma que puede ser menor al 50% (Keeney, 1982), lo que trae como consecuencia un impacto ambiental adverso, tal como contaminación de mantos acuíferos con  $\text{NO}_3$ , eutrofización, lluvia ácida y calentamiento global (Ramanathan *et al.*, 1985).

La roca fosfórica, que es la materia prima de los fertilizantes fosforados, tiene cantidades importantes de cadmio dependiendo del tipo de roca (Gilliam *et al.*, 1985) y el uso continuo de este fertilizante induce la acumulación en el suelo de cadmio, elemento que es indeseable por su riesgo de toxicidad en plantas y animales (Mengel y Kirkby, 1982). Otro problema no menos importante es la contaminación de aguas superficiales y subterráneas con nitratos y la emisión de gases de nitrógeno a la atmósfera ( $\text{NO}$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ) que es consecuencia del uso inadecuado de fertilizantes nitrogenados (Gilliam *et al.*, 1985; Castellanos y Peña, 1990; Puckett, 1995) y de la aplicación de láminas inapropiadas de agua de riego, y asociado a esto, está el riesgo de acumulación de nitratos en frutos y

verduras comestibles, así como en acuíferos, lo cual es de alto riesgo para la salud humana cuando la concentración de  $\text{HNO}_3$  supera el 0.2% en las partes comestibles de las plantas como frutos de hortalizas o verduras y en agua potable llega a 10 ppm (Malakouti *et al.*, 1999).

Es por eso que se deben promover acciones orientadas a una agricultura sustentable la cual consiste en mantener la producción sin deterioro del medio ambiente. El aumento de la concientización sobre el cuidado del medio ambiente y la evidencia del deterioro ambiental que causan los agroquímicos ha hecho que los productores agrícolas, vean como buena alternativa la aplicación de los biofertilizantes. En este sentido, los biofertilizantes constituyen un componente vital de los sistemas sostenibles, ya que son un medio económicamente atractivo y aceptable de reducir los insumos externos y de mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos (Elein *et al.*, 2005).

Dentro de ellos, se encuentra la adición de algas al suelo agrícola siendo una alternativa bien reconocida (Aitken y Senn, 1965; Button y Naves, 1964; Senn, 1987; Verkleij, 1992). Las algas aportan al suelo iguales cantidades de N, más K y menos P que el estiércol de granja (Kingman y Moore, 1982). Son pues adecuadas para suelos pobres en K o para cultivos exigentes en este nutriente (López y Pazos, 1997). Además han recuperado su respeto en muchas aplicaciones, dado que se trata de un fertilizante orgánico renovable, aspecto importante al considerar las acciones de recuperación de suelos empobrecidos así como a las actividades agrícolas sostenibles con el medio ambiente. Sin embargo, Frankenberger y Dick (1983), señalaron que existe una relación muy estrecha entre la actividad biológica de un suelo y la producción de  $\text{CO}_2$  (como reflejo del sustrato carbonado consumido por los microorganismos) que es liberado a la atmósfera (citado por Ajwa *et al.*, 1999). En este sentido es importante determinar bajo qué condiciones se promueve la liberación de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera cuando se adicionan algas como mejoradores de suelos.



## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Suelo

El nombre suelo se deriva de la palabra latina *solum* lo cual significa piso o superficie. El suelo es la cubierta superficial de la mayoría de la corteza terrestre, es un medio heterogéneo y complejo constituido por agregados de minerales no consolidados o semiconsolidados compuesto de la mezcla de partículas de diferentes tamaños, minerales y compuestos litológicos con diversas cantidades y clases de materias orgánicas (desechos vegetales y animales), materiales inorgánicos de la corteza terrestre como piedras, grava, arena, limo y arcilla; agua, aire (O, CO<sub>2</sub>, N entre otros gases) y organismos vivos como la macro y micro flora y fauna (Martínez y Curtis, 2002; Siame *et al.*, 2004; Bonadeo *et al.*, 2006).

Los suelos se forman por la acción combinada de la naturaleza física y composición mineral del material de origen, del cual hereda sus propiedades. Representa todo tipo de material terroso quedando excluidas las rocas sanas, ígneas o metamórficas en los depósitos sedimentarios altamente cementados que no se ablanden o desintegren rápidamente por la acción de la intemperie. Como un resultado de las actividades humanas, el suelo es también una de las partes más afectadas del ecosistema global (Martínez y Curtis, 2002; Rodríguez y Sánchez, 2007).

El suelo tiene cuatro componentes importantes: minerales, materia orgánica, aire y agua. La fase sólida (mineral y orgánica) ocupa generalmente hasta el 50% de su volumen total. El resto lo ocupan la fase líquida (agua) y la fase gaseosa (aire), las que mantiene una proporción complementaria al llenar los poros que se originan entre los agregados y las partículas de la fase sólida (Hans, 1975).

#### **4.1.1 Características de los Suelos**

Los suelos muestran gran variedad de aspectos, fertilidad y características químicas en función de los materiales minerales y orgánicos que lo forman (Bonadeo *et al.*, 2006). Son un elemento indispensable para el sostén y el sustento de los cultivos agrícolas, sus características determinan el desarrollo de los mismos (John *et al.*, 2006).

##### **4.1.1.1 Potencial de Hidrógeno (pH)**

La reacción del suelo se evalúa midiendo el pH, o sea, determinando la actividad iónica de  $H^+$  en una suspensión del suelo en agua o en electrolitos débiles. El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones  $H^+$  en la solución del suelo, siendo una equivalencia de iones  $H^+$  y  $OH^-$ . En condiciones neutrales se tiene un pH de 7, un aumento de  $H^+$  lleva a valores de pH más bajos en el ámbito ácido y un aumento de  $OH^-$  conlleva a la alcalinidad, es decir a valores más altos de pH (Hans, 1975).

El pH del suelo tiene una influencia considerable en la disponibilidad de nutrientes para cultivos. Esto también afecta la población microbiana en suelos. La mayor parte de los elementos nutritivos están disponibles en un rango de pH de 5.5-6.5 (Hans, 1975; Motsara y Dethi, 2008).

La actividad microbiana causa cambios en el pH del suelo o agua en la que se produzca. Estos cambios en el pH pueden tener efectos selectivos fuertes sobre otras bacterias (no suficientemente acidófilas para tolerar ambientes extremos cuando éstos se produzcan) y tiene efectos químicos sobre la solubilidad de gases en el agua, la disponibilidad de nutrientes cuya solubilidad varía y la concentración de metales pesados en los ecosistemas (Álvarez, 2005).

La relación existente entre el pH y el clima es que mientras más lluvioso es el clima y el perfil más percolante, mas acido será el pH del suelo, mientras

que en suelos áridos es normalmente alcalino. El pH influye en procesos involucrados en la formación y desarrollo de los suelos, la disponibilidad y absorción de nutrientes, la actividad de organismos del suelo, en la presencia o ausencia de elementos tóxicos (Al, Mn, Fe), en la descomposición de la materia orgánica, en la productividad vegetal ya que las plantas tienen determinados requerimientos de pH y rangos de adaptabilidad y también influye tanto en la capacidad de intercambio de cationes como en la capacidad de intercambio de aniones del suelo (Cepeda, 1991).

#### **4.1.1.2 Materia Orgánica**

La materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo. El edafón consiste en los organismos vivientes del suelo o sea su flora y fauna. En el horizonte de los suelos cultivados el edafón constituye entre el 10-15% de la materia orgánica. La fuente originaria de la materia orgánica son los restos de animales y especialmente vegetales que se depositan en el suelo. La vegetación consta de tallos, hojas, flores y frutos que al depositarse en la superficie del suelo constituyen la hojarasca; cada uno de los componentes de la vegetación tiene una composición química específica (Hans, 1975).

Los suelos con buenas cantidades de materia orgánica que poseen grandes cantidades de microorganismos que participan en los ciclos biogeoquímicos, transforman los elementos del medio que les rodea mediante reacciones de óxido-reducción y para muchos organismos como las plantas, son los únicos agentes biológicos capaces de regenerar las formas básicas de los elementos (C, H, O, N, P, S) que necesitan para su nutrición (Resendiz *et al.*, 2005).

La porción de la materia orgánica dentro de la fase sólida varía entre los suelos. En la superficie de los arenosos desérticos solo alcanza a veces al 0.5% de su peso total; en la mayor parte de los suelos cultivados varía entre el 2% y

el 5%; en algunos llega al 8% y 10% y en casos extremos, como suelos turbosos, puede alcanzar hasta el 90% a 95%. El contenido de la materia orgánica disminuye en forma variable con la profundidad del suelo; a veces también se producen acumulaciones en determinados horizontes del suelo (Hans, 1975).

Los fertilizantes son uno de los instrumentos estratégicos más importantes de agricultura moderna, la importancia que tiene la materia orgánica como fertilizante debido a la interacción de esta en los procesos de trascendencia para el comportamiento del suelo como son su formación y estabilización de agregados, adsorción e intercambio iónico, suministro de energía y nutrientes, capacidad de retención de humedad diversos procesos edafológicos y protección contra la erosión del suelo (Resendiz *et al.*, 2005).

#### **4.1.1.3 Carbonatos**

Los carbonatos constituyen un grupo de minerales cuya estructura incluye el anión  $(\text{CO}_3)^{2-}$ . Se conoce alrededor de 60 especies de carbonatos, pero en los suelos tiene importancia un conjunto relativamente restringido (Besoain, 1985). En cuanto al origen, los carbonatos del suelo son en muchos casos heredados del material parental; entre otros procedentes de la disolución o hidrólisis de los minerales que contienen calcio, tales como el yeso o la anortita y su precipitación posterior como calcita (Afif, 2005).

En los climas áridos y semiáridos hay tendencia a que se acumulen los carbonatos, especialmente carbonato cálcico, hasta constituir un horizonte de Ca. Cuando forman un horizonte endurecido por carbonato de calcio (en parte carbonato de magnesio) impenetrable por las raíces o barreno, constituye el llamado horizonte petrocálcico. La calcita es una fuente de calcio en el suelo y la aprovechan las plantas cuando se disuelve al estado de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  de acuerdo a la presión del  $\text{CO}_2$  y pH existentes. La magnesita,  $\text{MgCO}_3$  raramente se encuentra en el suelo debido a su mayor solubilidad en agua. Ladolomita

constituye una fuente de calcio y magnesio en los suelos al ser disuelta por agua con dióxido de carbono en solución (Besoain, 1985).

El contenido total de carbonatos se expresa normalmente por el equivalente de carbonato de calcio. La reactividad del carbonato se puede evaluar por la distribución del tamaño de partícula y la superficie de los carbonatos o la reactividad de la superficie de los carbonatos, calculando la diferencia entre las superficies accesible al intercambio isotópico con Ca de muestras de suelo intactas y descarbonatadas (Afif, 2005).

Mucho de los suelos excesivamente ricos en cal son jóvenes y se forman sobre materiales de origen, ricos en calcio. Además, suelen ocurrir en posiciones tipográficas deprimidas, con capa freática superficial. En algún caso estos suelos llegan a presentar el 10% de  $\text{CaCO}_3$  pero no son salinos porque la solubilidad de  $\text{CaCO}_3$  es baja. El pH casi siempre oscila entre 7.5 y 8.0 debido a la acción tampón del  $\text{CaCO}_3$ . Los problemas creados por los suelos excesivamente calizos derivan de su humedad elevada, dificultades de aireación y de las deficiencias nutritivas que suelen presentar las plantas que se cultivan en ellos (Thompson y Troeh, 1988)

#### **4.1.1.4 Conductividad Eléctrica**

La conductividad eléctrica (CE) sirve para medir la concentración total de sales en una solución, pero no indica qué sales están presentes. La CE se expresa en dS/m (anteriormente denominada mmho/cm). Los suelos salinos suelen contener más del 0.2% de sales solubles. La presencia de sales eleva la presión osmótica y dificulta y, en casos extremos, imposibilita la absorción de agua por parte de las plantas. La mayoría de las sales presentan una reacción neutra o casi neutra, pero algunas son alcalinas, por lo que el pH del suelo suele oscilar entre 7.3 y 8.5. Las sales se desplazan en el suelo junto con el agua. Durante la estación seca puede formarse costras blancas de sal en la

superficie del suelo pero éstas desaparecen con las primeras lluvias (Thompson y Troeh, 1988).

#### **4.1.2 Microbiología del Suelo**

En el suelo existe una población muy compleja de organismos que le proporcionan una vida activa. Unos participan en las reacciones bioquímicas del suelo, descomponiendo no solamente tejidos vegetales y animales (descomposición de proteínas por *Pseudomonas*, celulosa por *Aspergillus*, etc.), sino también materiales inorgánicos (aluminosilicatos por *Bacillus cereus*). Otros influyen en los procesos físicos del suelo, a través de la disgregación de rocas causada por las raíces, realizando túneles (lombrices), o trasladando el suelo y subsuelo (termitas) (Blasco, 1970).

Un suelo fértil es aquel que contiene una reserva adecuada de elementos nutrientes disponibles para la planta o una población microbiana que este liberando nutrientes en forma permanente hasta alcanzar un balance que permita un buen desarrollo vegetal (Delgado, 2006). Los microorganismos edáficos no se encuentran ocupando todo el volumen interparticular en el suelo sino que se localizan adheridos a la superficie de las partículas del suelo. Constituyen su parte viva y son los responsables de la dinámica de transformación y desarrollo (Olalde y Aquilera, 1998; Delgado, 2006; Shentu *et al.*, 2008).

Los microorganismos desempeñan el papel más importante en el ambiente, de lo que podrían sugerir sus dimensiones tan pequeñas. Existe una gran diversidad de microorganismos que viven en el suelo. Cada microorganismo en un ecosistema interactúa con su entorno, modificando marcadamente en algunos casos, las características del ecosistema debido a sus actividades metabólicas. El número y tipos de microorganismos presentes en el suelo dependen de diversos factores ambientales como son la composición del suelo (cantidad y tipo de nutrientes), las características físicas

(humedad, aireación, temperatura, pH), el tipo de planta (el sistema de raíces influye en el número y tipo de organismos presentes), las prácticas agrícolas, etc. Las condiciones fisicoquímicas en el microambiente pueden cambiar con rapidez, por ello los microambientes son heterogéneos y las condiciones en un microambiente determinado puede variar rápidamente; esto explica que se encuentren microorganismos fisiológicamente diferentes (aerobios, fotótrofos, autótrofos, etc.) en la misma pequeña muestra de tierra, lodo o agua (Haynes *et al.*, 1985; Resendiz *et al.*, 2005; Acuña *et al.*, 2006).

Cada proceso químico desencadenado por un microorganismo es una etapa en la descomposición de un material orgánico o inorgánico. Una mayor cantidad de microorganismos en el suelo permite una mejor actividad metabólica y enzimática para obtener plantas bien nutridas con buena capacidad para producir (Delgado, 2006).

La contribución de los microorganismos a las características físicas del suelo final es importante: los microorganismos ayudan al proceso de fragmentación y transformación química de los suelos y se establecen con rapidez en las superficies recientemente erosionadas con lo que contribuyen al desgaste de la roca. Por otra parte, los microorganismos pueden liberar compuestos químicos al suelo (ácidos orgánicos, agentes quelantes, fenoles, etc.) (Long y Grant, 1996).

La interacción de los microorganismos con las plantas puede ser benéfica, neutra o nociva. Las tres clases de microorganismos beneficiosos para las plantas pueden ser definidos como: 1) Microorganismos que pueden incrementar el suplemento de nutrientes, minerales esenciales para el desarrollo tal como N y P, 2) Microorganismos que estimulan el crecimiento de las plantas de una forma indirecta por medio de la represión de organismos patógenos. Estos microorganismos son utilizados para biocontrol y 3) Microorganismos que pueden estimular el directo crecimiento biológico de las plantas. Un gran número de bacterias tales como *Azotobacter sp.*,

*Pseudomonas sp*, *Azospirillum sp* y algunos hongos tales como *Fusarium sp* son capaces de producir reguladores de crecimiento a las plantas como son la giberelinas, auxinas y citocinas (Villarreal *et al.*, 2003).

#### **4.1.2.1 Hongos**

Los hongos conforman una importante fracción de la biomasa total microbiana del suelo. Se estima que existe más de un millón de especies de hongos en el planeta tan sólo unas 70,000 de ellas han sido descritas por los especialistas, los hongos tienen distintos hábitos de vida. Los hongos saprófitos, es decir descomponedores de materia orgánica, cumplen una función ecológica de la mayor relevancia pues garantizan el reciclaje de la materia muerta y, por lo tanto, la recirculación de sustancias nutritivas en los ecosistemas (Acuña *et al.*, 2006; Ingraham y Ingraham, 1998).

Los hongos, son quimiorganótrofos, estos, se alimentan de materia orgánica muerta o de huéspedes vivos, cuando interactúan como parásitos. Son capaces de tolerar, como un nivel de acidez o basicidad en un rango mayor que las bacterias. Debido a que viven desde 2 hasta un valor de 9 de pH. Su pH óptimo es aproximadamente 5.6, valor que no todas las especies bacterianas soportan. Se reproducen por medio de esporas, aun cuando su hábitat natural es en humedad, cuando el entorno se reseca los mohos forman esporas y entran en un modo de resistencia, con lo cual logran sobrevivir en ambientes secos (Acuña *et al.*, 2006).

Son importantes degradadores aerobios de material vegetal en descomposición en suelos ácidos. Producen enzimas y metabolitos que contribuyen al ablandamiento y a la transformación de sustancias orgánicas. También estas enzimas forman parte de la actividad de otros microorganismos. Los hongos movilizan nutrientes minerales hacia las raíces de las plantas, aumentan la capacidad de retener agua en sequía, fijan nitrógeno y fósforo y protegen las raíces de fitopatógenos por espacio y emitiendo sustancias que los



inhiben. Los hongos son muy activos en las plantas y prefieren los azúcares que estas segregan por las raíces y también toman aminoácidos (Ingraham y Ingraham, 1998).

Algunos hongos entran en simbiosis con las raíces llamadas micorrizas. Son más activos en suelos arenosos y pobres en materia orgánica. La simbiosis se ve favorecida por la pobreza mineral del suelo (Ingraham y Ingraham, 1998; Stainer *et al.*, 1992). Los géneros de hongos más importantes asociados a las raíces de las plantas son *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Trichoderma*. El *Aspergillus* y el *Penicillium* movilizan el fósforo y el nitrógeno del suelo. Mientras que *Trichoderma* sostiene la humedad en las raíces en condiciones de sequía (Ingraham y Ingraham, 1998; Luna *et al.*, 2002).

#### **4.1.2.2 Bacterias**

Son los microorganismos más abundantes y pequeños. Pueden ser aerobios, anaerobios o facultativos. Pueden tolerar distintos pH. En suelos ácidos algunas bacterias neutrófilas tienen la capacidad de neutralizar el suelo donde se desarrollan para cumplir su función (Ingraham y Ingraham, 1998). La mayoría de las bacterias del suelo que son importantes para las plantas son heterótrofas, aerobias y mesófilas, tienen especial importancia en la relación suelo-planta y son responsables del incremento o disminución en el suministro de nutrientes (Luna *et al.*, 2002).

Entre los géneros bacterianos más importantes agrícolamente por la transformación de los compuestos orgánicos e inorgánicos y que favorecen la nutrición de las plantas están: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Clostridium*, *Thiobacillus*, *Lactobacillus* y *Rhizobium* (Stainer *et al.*, 1992; Ingraham y Ingraham, 1998).

Las bacterias PGPR (plant growth promoting rhizobacteria, por sus siglas en inglés) o rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y los hongos micorrizógenos arbusculares son parte fundamental de la comunidad de

microorganismos que viven en el suelo, su presencia y las múltiples interacciones que establecen contribuyen a definir la dinámica ecológica de la rizosfera y a regular la composición y la diversidad de las comunidades vegetales, también son fundamentales para hacer que crezcan más las plantas y que toleren mejor el ataque de diversos agentes patógenos. Este tipo de bacterias habita en la zona periférica de las raíces de una planta, capaces de producir sustancias fisiológicamente activas, como vitaminas, giberelinas, citoquininas y ácido indolacético en cantidades importantes, cuya acción conjunta estimula la germinación de las semillas, acelera el crecimiento el desarrollo de las planta y se incrementa el rendimiento de los cultivos (Hernández *et al.*, 2004; Trejo *et al.*, 2005)

#### **4.1.2.2.1 Bacterias Halófilas**

Las bacterias marinas y otros microorganismos que no crecen en soluciones sin sal son halófilos. Algunas bacterias halófilas pueden readaptarse a medios normales por pasos sucesivos en medios de concentración salina decreciente. Menos del 10% de las bacterias marinas crecen en agua dulce cuando se aíslan por primer vez, pero aproximadamente el 75% llegan a adaptarse a condiciones hipotónicas (Villarreal, 2003).

Las bacterias halófilas tienen interés desde el punto de vista ecológico, especialmente las que se encuentran en el mar y en otros cuerpos naturales de agua con gran salinidad. La concentración salina de los océanos es de 3.5 a 4.0% y la del mar muerto es aproximadamente 29%; algunas bacterias aislada del mar muerto no crecen en medios que contenían menos del 13% en sal. Se piensa que las bacterias marinas no son independientes de las terrestres sino que en la realidad son microorganismos terrestres adaptados al medio marino. Pueden encontrarse microorganismos en ambos medios con propiedades fisiológicas idénticas excepto en sus necesidades osmóticas (Villarreal, 2003).

#### 4.1.2.3 Microorganismos Aerobios de Vida Libre- Fijadores de Nitrógeno

El N es un elemento necesario en la composición de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares, siendo así una molécula esencial para el crecimiento de todos los organismos (Mayz, 2004). Existen microorganismos capaces de fijar nitrógeno atmosférico en la mayoría de los hábitats: en el suelo, en el mar, en las masas de agua dulce e incluso en las fuentes termales. Sin embargo, la cantidad de nitrógeno fijado por los microorganismos libres es muy inferior a la obtenida por las simbiosis entre plantas y microorganismos (Pérez y Torralba, 1997).

Los microorganismos, particularmente las bacterias, juegan un importante papel en las principales transformaciones del N. La fijación de N se produce únicamente por bacterias en condiciones anaerobias y requiere el consumo de una gran cantidad de energía (Harrison, 2003; Álvarez, 2005). La fijación simbiótica de N es un proceso no contaminante y respetuoso con el medio ambiente, se lleva a cabo por las bacterias diazotróficas para su propio crecimiento. Sólo cuando mueren se liberan al medio los compuestos orgánicos nitrogenados que se transforman en nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), que ya pueden asimilarse por las plantas o por otros microorganismos (Haynes *et al.*, 1985).

Las bacterias fijadoras de N son componentes importantes del suelo y requieren una fuente de energía química si no son fotosintéticas, las cuales a su vez utilizan la energía de la luz solar. Una característica común de los microorganismos involucrados en la fijación biológica del nitrógeno, es la presencia del sistema enzimático nitrogenasa, que les permite la reducción del nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ) atmosférico hasta la forma asimilable  $\text{NH}_4^+$ . Esta enzima puede funcionar a cabalidad en los microorganismos viviendo en forma libre o asociados, excepto en las de rizobia con leguminosas o Parasponia, donde la síntesis de la enzima es compartida; es decir su acción depende de los dos organismos involucrados (Mayz, 2004). Entre las bacterias de vida libre

pueden encontrarse: anaeróbicas obligadas o facultativas (*Clostridium pasteurianum*, *Klebsiella sp.*, *Desulfovibrio sp.*), aeróbicas obligadas (*Azotobacter sp.*, *Beijerinckia sp.*) y fotosintéticas (bacterias púrpuras sulfurosas y no sulfurosas, y bacterias verdes sulfurosas) (Mayz, 2004; Trejo *et al.*, 2005). Algunas bacterias, actinomicetos y algas verde azules (cianofíceas) reducen el N atmosférico a N amoniacal y lo incorporan al suelo. Entre los géneros de bacterias aerobias nitro fijadoras están *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Derxia*, *Azomonas*, y *Oscillatoria*. Las bacterias del género *Azotobacter* tienen movimiento y forman quistes cuando encuentran condiciones difíciles. Se han encontrado en suelos ácidos (pH 5.5) y alcalinos, pero prefieren los neutros (Ingraham y Ingraham, 1998).

Las bacterias de la familia *Rhizobiaceae*, conocidas con el nombre genérico de rizobios, se caracterizan por infectar las células de las raíces de las plantas leguminosas y formar nódulos, estructuras características de la interacción bacteria-planta en el interior de las cuales unas células especializadas, los bacteroides reducen el  $N_2$  a  $NH_4^+$  (Haynes *et al.*, 1985).

La nitrificación no solo produce  $NO_3^-$ , también altera el pH levemente hacia el rango ácido, facilitando la disponibilidad de materiales solubles (Ayyapan y Mishra, 2013). A diferencia de la limitada diversidad de especies de bacterias que intervienen en la nitrificación, al menos 14 géneros de bacterias pueden reducir el nitrato. Entre estos, *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Alkaligenes* son los más numerosos (Focht y Verstraete, 1977).

Las PGPR o bacterias promotoras del crecimiento de las plantas, representan numerosas especies del suelo y al igual que muchas especies de hongos, particularmente los micorrízicos, se encuentran asociados con la mayoría de las especies de plantas, sino es que con todas, y comúnmente se les encuentra en la mayoría de los ambientes. Las PGPR favorecen el crecimiento de la plantas a través de diferentes mecanismos entre los que se destaca la fijación biológica de N. La síntesis de fitohormonas como las auxinas,

particularmente el ácido indol acético, promueve el crecimiento de las raíces y la proliferación de pelos radicales, mejorando la absorción de agua y minerales del suelo, y con ello el mejor y mayor desarrollo de la planta (Caballero, 2006).

Entre los microorganismos involucrados en la fijación biológica de N se encuentran: bacterias, algas verde-azules (cianobacterias) y actinomicetes, los cuales pueden fijar el N viviendo libremente o formando asociaciones. La relación que se establece entre las bacterias y las plantas puede ser favorable, perjudicial o neutra. Dentro de las relaciones favorables se encuentra la asociación con bacterias fijadoras de N; entre estas, especies de *Azospirillum*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas* y *Burkholderia*.

Las bacterias fijadoras de N pueden ser categorizadas dentro del grupo de las rizobacterias o PGPR, al ejercen un efecto benéfico sobre el crecimiento de las plantas. Los microorganismos fijadores de N de vida libre, abarcan una gama morfológica que va desde los organismos unicelulares como las bacterias y algunas cianobacterias, hasta multicelulares como las cianobacterias filamentosas y los actinomicetes (Mayz, 2004).

Las cianobacterias son las responsables de la incorporación del N en zonas árticas y subárticas, así como en zonas volcánicas. Las cianobacterias fijan el N en unas células especiales denominadas heterocistes, las cuales pasan luego el N fijado a las demás células, mientras que reciben de estas los fotoasimilados. En estas células la nitrogenasa se halla protegida del oxígeno (O). Muchas algas verdeazuladas pueden crecer y fijar nitrógeno en completa oscuridad si disponen de suficientes substratos orgánicos. Un alga verdeazulada expuesta a la luz puede luego fijar N en la oscuridad durante un cierto periodo de tiempo aprovechando para ello los substratos producidos en la fase luminosa, el ATP y el poder reductor generado (Pérez y Torralba, 1997).

## 4.2 Agotamiento del Suelo

Mundialmente el cambio climático continúa siendo tema de considerable debate a nivel científico y de interés público. En forma creciente, la agricultura es vista como un gran contribuyente, ya que las pérdidas de mayor impacto es el agotamiento del suelo debido al uso de prácticas agrícolas inadecuadas; siendo este recurso la base de la producción de alimentos y de otras comodidades básicas, tanto en las comunidades rurales, como urbanas (Méndez y Viteri, 2007).

México no exentó de esta situación se enfrentan cada vez con más frecuencia a severos problemas ambientales como resultado de un expansivo crecimiento de la tala inmoderada, la erosión de sus suelos, la pérdida de la biodiversidad y la contaminación ambiental derivada del uso intensivo de agroquímicos sintéticos. (Lira y Medina, 2007)

Se ha estimado que en México durante los últimos 40 años se ha perdido cinco veces más suelo que en los 400 años de historia del país. Claverán *et al.* (2001) señalo que las pérdidas anuales se estiman entre 250,000 y 300,000 ha de tierra agrícola y sentenció que en caso de que la tendencia no se modifique, seguramente en el siglo XXI se perderá la mayor parte de la tierra de cultivo. Un estudio realizo por el Banco Mundial, permitió estimar el costo monetario de la erosión, la contaminación del agua y el suelo, la sobreexplotación de los mantos acuíferos en toda la República Mexicana, así como el costo de la contaminación atmosférica de la ciudad de México. Este estudio indicó que las pérdidas económicas por la reducción de la fertilidad natural del suelo a causa de la erosión, son al menos de 1,000 millones de dólares anuales. Los costos en salud por la contaminación de la aguas y la inadecuada disposición de residuos sólidos puede alcanzar cifras hasta 3,000 millones de dólares, mientras los subsidios al consumo del agua, en 1991, sumaron 1,160 millones de dólares (Pérez, 2004).

#### **4.2.1 Contaminación del Suelo**

Las actividades agrícolas tradicionales que practica el hombre han conllevado a la contaminación de suelo, agua y medio ambiente por el uso irracional de los plaguicidas y fertilizantes químicos. La disminución de la fertilidad de los suelos agrícolas y la desertificación son precursores inmediatos de los más graves problemas que afectan directamente el medio ambiente y la salud humana (Resendiz *et al.*, 2005).

En los valles agrícolas del noroeste y centro de México se caracteriza por usar técnicas agrícolas modernas que consisten en emplear fertirriego por goteo, acolchados plásticos al suelo y dosis excesivas de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos (Villarreal *et al.*, 2006)

Por lo tanto la sobreexplotación del suelo, en conjunto con el uso excesivo de maquinaria y agroquímicos, el riego por aguas que generan procesos de salinización y la falta de incorporación de materia orgánica, han conducido a la degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas que determinan la capacidad productiva de los suelos (Viteri, 2002).

##### **4.2.1.1 Contaminación con Fertilizantes Sintéticos**

El uso excesivo de estos fertilizantes puede provocar, además de un aumento en los costos de producción, desbalances nutricionales en los cultivos y problemas de contaminación ambiental (Villarreal *et al.*, 1999). En la agricultura moderna altamente tecnificada es común el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos, destacando los nitrogenados, fosforados y potásicos. Estos fertilizantes, al aplicarlos en dosis superiores a los requerimientos de los cultivos, conducen a una baja eficiencia en su utilización (menor al 50%) y a un impacto adverso en el ambiente (Keeney, 1982; Peña *et al.*, 2001), como la contaminación de la atmósfera (Ramanathan *et al.*, 1985), los suelos (Castellanos y Peña, 1990).

Otro problema no menos importante es la contaminación de aguas superficiales y subterráneas con nitratos y la emisión de gases de nitrógeno a la atmósfera (NO y N<sub>2</sub>O) que es consecuencia del uso inadecuado de fertilizantes nitrogenados (Gilliam *et al.*, 1985; Castellanos y Peña, 1990; Puckett, 1995) y de la aplicación de láminas inapropiadas de agua de riego, y asociado a esto, está el riesgo de acumulación de nitratos en frutos y verduras comestibles, así como en acuíferos, lo cual es de alto riesgo para la salud humana cuando la concentración de NNO<sub>3</sub> supera el 0.2% en las partes comestibles de las plantas como frutos de hortalizas o verduras y en agua potable llega a 10 ppm (Malakouti *et al.*, 1999), altera el equilibrio de las especies vegetales terrestres: las que asimilan mejor el nitrógeno crecen más rápidamente y predominan, mientras que otras desaparecen (Boixadera y Cortés, 2000).

Este uso excesivo de fertilizantes químicos también puede provocar desbalances nutricionales en los cultivos hortícolas y bajo rendimiento y calidad de los frutos cosechados (Maynard *et al.*, 1976; Engels y Marschner, 1995). Se ha demostrado que el uso indiscriminado de agroquímicos produce degradación física, química y biológica del suelo, debido a la disminución del contenido de materia orgánica, la acumulación residual de sales solubles y la reducción de su población microbiana (Volke *et al.*, 1993; Crovetto, 1996).

Además, el uso de fertilizante nitrogenado en exceso a los requerimientos de los cultivos provoca altas emisiones de NO<sub>2</sub> hacia la atmósfera y se deja sentir en el ambiente ya que es el causante de fenómenos como el smog o la lluvia ácida, lo cual contribuye al efecto invernadero y a la destrucción de la capa de ozono. Como vemos, el exceso de nitrógeno puede tener efectos tan devastadores como los gases de efecto invernadero (Boixadera y Cortés, 2000). Estas emisiones pueden reducirse mediante el uso de prácticas apropiadas de fertilización y de sistemas de producción que incluyan la conservación en el suelo de residuos de los cultivos (Baggs *et al.*, 2003). En las áreas hortícolas de México, en particular en el noroeste y centro,



no es común el uso de abonos orgánicos como fuente de nutrimentos para los cultivos; por el contrario, los productores hortícolas eliminan la materia orgánica residual y dejan el suelo desnudo o lo cubren con plástico para controlar malezas y patógenos. Estas prácticas conducen a la degradación del suelo en sus propiedades físicas y biológicas (Juo *et al.*, 1995).

La roca fosfórica, que es la materia prima de los fertilizantes fosforados, tiene cantidades importantes de cadmio dependiendo del tipo de roca (Gilliam *et al.*, 1985) y el uso continuo de este fertilizante induce la acumulación en el suelo de cadmio, elemento que es indeseable por su riesgo de toxicidad en plantas y animales (Mengel y Kirkby, 1982).

#### **4.2.2 Efectos de la Contaminación del Suelo**

Un suelo contaminado es aquel que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y como consecuencia pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera y los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que originan modificaciones importantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En definitiva se produce un empeoramiento de las propiedades del suelo y una disminución de la masa de suelo. Estos efectos tiene dos consecuencias generales: a corto plazo disminución de la producción y aumento de los gastos de explotación (cada vez el suelo necesita mayor cantidad de abonos y cada vez produce menos); a largo plazo infertilidad total y desertificación del territorio (Gaiak, 2007).

Como consecuencia de la contaminación el pH del suelo disminuye, con lo que se puede superar la capacidad tampón y liberar elementos de las estructuras cristalinas que a esos pH pueden solubilizarse y ser altamente tóxicos para animales y plantas. El mal uso del agua de riego provoca la salinización y la sodificación del suelo. En el primer caso se produce una

acumulación de sales más solubles que el yeso que interfieren en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y plantas no especializadas. En el segundo caso se produce una acumulación de sodio intercambiable que tiene una acción dispersante sobre las arcillas y de solubilización de la materia orgánica, que afecta muy negativamente a las propiedades físicas del suelo (agregados menos estables, sellado del suelo, encostramiento y disminución de la conductividad hidráulica), por lo que el medio será menos apto para el crecimiento de los cultivos (Martínez *et al.*, 2011).

Los plaguicidas y los fertilizantes son generalmente productos químicos de síntesis y sus efectos dependen tanto de las características de las moléculas orgánicas (mayoría de los plaguicidas) como de las características del suelo (Gaiak, 2007). La reducción del efecto contaminante de los nitratos procedentes de fuentes agrícolas se está persiguiendo en muchas zonas agrícolas del mundo. El uso de los modelos de simulación puede ser una manera de hacer frente a esta problemática. En la actualidad existe gran variedad de modelos capaces de ayudar en la interpretación de los procesos de transferencia de agua y solutos en agricultura (Samper y Paz, 2005).

### **4.3 Agricultura Sustentable**

La agricultura siempre ha estado relacionada con la sociedad (1). Ha sido la innovación humana que satisface diversas necesidades, principalmente las alimenticias. Los problemas de fertilidad son resueltos principalmente con fertilizantes sintéticos, pero los efectos adversos al medio ambiente han orientado a impulsar nuevas estrategias que fomenten la agricultura sustentable (Rabie y Humiany, 2004).

La agricultura sustentable consiste en mantener la producción sin deterioro del medio ambiente y entre los elementos más valiosos están los biofertilizantes, los bioestimulantes y los bioplaguicidas, productos constituidos por microorganismos que se encuentran en el suelo. La biotecnología ha

abierto nuevas posibilidades para la introducción de microorganismos benéficos en suelos con el fin de promover el crecimiento de plantas y llevar a cabo un control biológico de patógenos que podrían afectar cultivos (Cardona, 2003; Pretty, 2008).

El interés agronómico en la actividad microbiana se debe a su potencial para reciclar los nutrientes, mejorar la nutrición de las plantas y disminuir o sustituir la aplicación de fertilizantes de origen industrial. Además, el uso de microorganismos procura mejorar la salud y la fertilidad del suelo, es un proceso paulatino, pero que requiere de especial interés si se desea mantener y mejorar la estructura del suelo, sus características fisicoquímicas y biológicas y por ende, la productividad (Cardona, 2003; Álvarez y Anzueto, 2004).

Desde el punto de vista ecológico, la utilización y aplicación correcta de estos microorganismos permite reducir el uso de energía, la degradación del agroecosistema y las pérdidas de nutrientes. En adición, se mantiene la capacidad productiva del sistema, se preserva la biodiversidad y se contribuye con una producción más estable y sostenida, a largo plazo, en equilibrio con el entorno (Cardona, 2003). La sustentabilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agroecosistemas. En este sentido, los biofertilizantes constituyen un componente vital de los sistemas sostenibles, ya que son un medio económicamente atractivo y aceptable de reducir los insumos externos y de mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos (Elein *et al.*, 2005).

La biofertilización es una tecnología que está enraizada con este concepto, la inclusión de microorganismos en las semillas (Inoculación) "Hongos micorrizas - Bacterias fijadoras de N<sub>2</sub>" y solubilizadores de P, producen efectos aditivos, de particular importancia, para el desarrollo de cultivos más rendidores, de mejor calidad fitosanitaria y para aumentar el contenido de materia orgánica del suelo. Estos microorganismos, básicamente trabajan sobre el abastecimiento de N y P hacia el vegetal; también se acotan otras funciones

no menos importantes: el desarrollo radicular más abundante y el efecto protector contra enfermedades fúngicas de la raíz (Frontera, 2004)

#### **4.4 Biofertilizantes**

El aumento de la concientización sobre el cuidado del medio ambiente y la evidencia del deterioro ambiental que causan los agroquímicos ha hecho que los productores agrícolas, vean como buena alternativa la aplicación de los biofertilizantes (Armenta *et al.*, 2010). En México el mayor impacto de los biofertilizantes fue en los años 70's y 80's con la fijación biológica de nitrógeno en soya y garbanzo, donde se logró sustituir la fertilización nitrogenada en Sinaloa que en ese tiempo fue el principal productor nacional de estas leguminosas (Armenta *et al.*, 1986; Armenta, 1990), la utilización de inoculantes comerciales a base de *Rhizobium* fue una práctica generalizada por los productores agrícolas, además de ser recomendada por los centros de investigación (INIFAP, 1990).

##### **4.4.1 Perspectivas de los Biofertilizantes**

El incremento de microempresas productoras de abonos orgánicos que incluyen los biofertilizantes, introduce a un manejo más sustentable del suelo. Estas prácticas van en aumento tanto en agricultura orgánica como convencional, sobre todo en el noroeste del país, siendo donde se tiene la tecnología agrícola más avanzada. Se está adoptando una estrategia de suministro de nutrientes a los cultivos (hortalizas y cultivos de grano), integrando una inteligente combinación de fertilizantes orgánicos, humus de lombriz y biofertilizantes; todo ello dentro del marco de la sustentabilidad, para reducir los daños causados al ambiente y a la salud del hombre y animales por los métodos irracionales que se han empleado en las últimas décadas (Fundación Produce, 2006).

La mayor demanda de abonos orgánicos por los productores agrícolas vienen siendo los fermentados líquidos (compostas líquidas y biofertilizantes

líquidos) que al aplicarse al suelo tienen importantes beneficios entre los que destacan, el aumento en los nutrientes (Eghball *et al.*, 2004; Ma *et al.*, 2003); mejoramiento de la capacidad del suelo para retener agua; mejores condiciones físicas para el desarrollo de las raíces y el laboreo del suelo (Badaruddin *et al.*, 1999); control de algunas enfermedades del suelo que causan la pudrición de raíces, y un aumento en la actividad microbiana (Kannangara *et al.*, 2000; Litterick *et al.*, 2004).

Otras razones de la preferencia de estos abonos líquidos son: a) Que pueden aplicarse de muchas maneras incluyendo el agua de riego que puede ser por gravedad o presurizado. b) Fácil manejo por las motobombas que reducen jornales. c) No requiere equipo especializado para su almacenamiento y aplicación y d) Se tiene mejor control de la cantidad aplicada al manejarse en volumen y no en peso (Armenta *et al.*, 2010).

#### **4.4.2 Microorganismos Utilizados como Biofertilizantes**

Los biofertilizantes son preparados de microorganismos aplicados al suelo y/o planta con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética así como disminuir la contaminación generada por los agroquímicos. Los microorganismos utilizados en los biofertilizantes son clasificados dentro de dos grupos: El primer grupo incluye microorganismos que tienen la capacidad de sintetizar sustancias que promueven el crecimiento de la planta, fijando nitrógeno atmosférico, solubilizando hierro y fósforo inorgánico y mejorando la tolerancia al stress por sequía, salinidad, metales tóxicos y exceso de pesticidas, por parte de la planta. El segundo grupo incluye microorganismos los cuales son capaces de disminuir o prevenir los efectos de deterioro de microorganismos patógenos (Bashan y Holguin, 1998; Lucy *et al.*, 2004).

Puede haber microorganismos que puedan estar en los dos grupos, que además de promover el crecimiento de la planta, inhiba los efectos de microorganismos patógenos (Kloepper *et al.*, 1980). Algunas de las bacterias

son versátiles y pueden presentar varios mecanismos, por ejemplo, *Bacillus subtilis* que produce auxinas que promueven el crecimiento de tomate e inducen resistencia sistémica contra *Fusarium oxysporum*, el cual provoca marchitez y pudrición de las raíces (Gupta *et al.*, 2000).

Los microorganismos que intervienen en la fijación biológica de nitrógeno atmosférico (FBNA) que es la reducción enzimática de nitrógeno ( $N_2$ ) a amonio ( $NH_4$ ), podemos clasificarlos en dos grupos (a) bacterias, hongos y algas que fijan nitrógeno en forma no simbiótica o de vida libre y b) microorganismos que fijan el nitrógeno en forma simbiótica con plantas leguminosas y no leguminosas (azolla, gramíneas y otras), las mayores cantidades de nitrógeno atmosférico fijado, es llevado a cabo por leguminosas en asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium* (Richards, 1987).

Dentro de los biofertilizantes también se encuentra la adición de algas al suelo agrícola siendo una alternativa bien reconocida (Aitken y Senn, 1965; Button y Naves, 1964; Senn, 1987; Verkleij, 1992). Las algas aportan al suelo iguales cantidades de N, más K y menos P que el estiércol de granja (Kingman y Moore, 1982). Son pues adecuadas para suelos pobres en K o para cultivos exigentes en este nutriente (López y Pazos, 1997).

#### **4.5 Algas Marinas**

Los organismos marinos son considerados una importante fuente de sustancias con potencial bioactivo. En este sentido, numerosas revisiones señalan a las algas como uno de los principales productores de estos compuestos (Bhakuni y Silva, 1974; Faulkner, 1984; Stein y Borden, 1984; Glombitza y Koch, 1989; Hay, 1996; González y Silva, 2001).

Las algas marinas son plantas talofitas (organismo que carecen de raíz, tallo, hojas), se agrupa un conjunto de organismos acuáticos de estructura unicelular y pluricelular; las últimas pueden ser microalgas y macroalgas, mientras que las unicelulares son únicamente microalgas. Viven

preferentemente en el agua, tanto dulce como marina, y en general están provistas de clorofila, acompañada en ocasiones de otros pigmentos de colores variados que enmascaran a esta; el talo de las algas pluricelulares tiene forma de filamento, de cinta o de lámina y puede ser ramificado (Robledo, 1997).

Las algas son habitantes de todos los ambientes, no solo en cuerpos de agua estables sino también en aquellos expuestos a la desecación: sobre rocas desnudas, fuentes termales (en donde soportan altas temperaturas), nieves, glaciares. Es común encontrarlas en lugares con poca luz a grandes profundidades. Esta capacidad está condicionada por la falta de exigencias y su capacidad de adaptación (Erulan *et al.*, 2009).

Aunque existe una clasificación taxonómica de las algas, también se les puede ordenar según su color, cada variedad recibe una radiación lumínica en dependencia de la profundidad en que viven, a partir de la cual desarrollan su metabolismo y reflejan un determinado color. Teniendo en cuenta lo anterior, Las algas marinas taxonómicamente se clasifican en tres grupos basados en su color: Verdes (*Chlorophyceae*), pardas (*Phaeophyceae*), y rojas (*Rhodophyceae*) ya que presentan pigmentos que predominan como clorofilas, carotenoides y ficobilinas (Erulan *et al.*, 2009; Quitral *et al.*, 2012).

La mayoría de las algas marinas son capaces de elaborar sustancias orgánicas a partir del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de sustancias inorgánicas disueltas en el agua. Este proceso denominado fotosíntesis, se cumple a través de la clorofila, un pigmento verde presente en las células, que actúa transformando la energía luminosa en energía química. Las sales y otras sustancias nutritivas pueden ingresar por cualquier punto de su cuerpo. A diferencia de las plantas terrestres, no poseen tejidos de conducción ni de sostén. Se mantienen erguidas porque al desarrollarse en el agua la gravedad no actúa sobre ellas (Abowei y Ezekiel, 2013). Las algas marinas son uno de los más importantes recursos marinos del mundo y se utilizan como alimento para ganado, consumo humano, materias primas para muchas industrias,

fertilizantes agrícolas y como una fuente de ficocoloides tales como agar, ácido alginico y carragenina (Sathya *et al.*, 2010).

#### **4.5.1 Cualidades Nutritivas de las Algas**

Las algas se destacan por su alto poder nutritivo y su escaso contenido en calorías y grasas; contienen ácidos linoleico y  $\alpha$ -linoleico que protegen la piel y las mucosas de la actividad de los radicales libres actuando contra el envejecimiento (Charzeddine y Fariñas, 2001). Contienen carbohidratos y son una fuente inigualable de proteínas vegetales porque aportan todos los aminoácidos esenciales; son depurativas, ya que disponen del peculiar ácido algénico que contribuye a la eliminación en el organismo de metales pesados como el arsénico, el plomo y el mercurio; gracias a este elemento, se eliminan la grasa y las toxinas depositadas en la sangre (Blunden y Carabot, 1995).

Poseen altas concentraciones de minerales como yodo, hierro, magnesio, calcio, fósforo, potasio, silicio y sodio, lo que las hace idóneas para remineralizar y fortalecer los huesos, las uñas, la piel y el cabello; además aportan zinc, elemento necesario para la correcta secreción y asimilación de la insulina. Contienen vitaminas A, B, C, D, E y K y en menor medida B12, que prácticamente está ausente en los vegetales terrestres, es fundamental en la síntesis del ADN, la formación de los glóbulos rojos y las células de las paredes del estómago (Freitas, 1990).

#### **4.5.2 Usos de las Algas**

Con el auge de la moda de la Cultura Oriental, la dieta occidental se ha rendido ante las virtudes de las algas, esto ha sido por su sabor, textura y las ya mencionadas virtudes nutricionales, es por ello que no sólo los asiáticos se han dejado fascinar por estas plantas, varios países de Europa y América del Sur han reconocido los beneficios que aportan las algas al organismo y las han introducido en su alimentación diaria (Alfonso y Blanco, 2008).



Las algas tienen efecto antibacteriano, antiviral y anticanceroso (Charzeddine y Levy, 1992; De Lara *et al.*, 2005). Varios tipos de algas reducen el nivel de colesterol, por lo que previenen la hipertensión, la arteriosclerosis y mejoran en general el metabolismo de las grasas. Existen diversas variedades que contienen anticoagulantes sanguíneos similares a la heparina, que es el anticoagulante natural de la sangre (Slifkin y Doyle, 1990; Pérez *et al.*, 1998).

En Europa, las algas se utilizan para la reducción del estrés, en el tratamiento de la celulitis, y como ayuda en la pérdida de peso, lograr el peso adecuado es importante para la salud humana, y en este sentido las algas permiten adelgazar, porque en contacto con el agua aumentan hasta siete veces su tamaño, y al ingerirlas producen un rápido efecto saciante, además su contenido en grasas es insignificante, pero a pesar de esas bondades, su empleo en la alimentación humana no es muy recomendable para quienes, por motivos de salud deben restringir la cantidad de sal en la dieta (Boraso, 1995).

Al igual que las plantas superiores, las algas contienen varios pigmentos de asimilación que intervienen en el proceso de fotosíntesis. Los carotenoides son un grupo de estos pigmentos biológicos presentes en todas las algas, que han sido ampliamente estudiados debido a sus propiedades antioxidantes, lo cual los hace cada vez más demandados por la industria en sectores como la avicultura y la acuicultura (piscicultura) donde se usan como suplemento alimenticio; en la piscicultura los organismos marinos se crían directamente con algas frescas. (Charzeddine y Fariñas, 2001).

En la industria ganadera, las algas se utilizan como forraje para la alimentación. En Europa, por ejemplo, usan algas pardas con esta finalidad. En la dieta animal, la adición de yodo debe ser controlada, ya que su exceso es perjudicial. Debe tenerse en cuenta que el alto contenido mineral, particularmente potasio, sodio y cloro, puede producir trastornos digestivos en los animales. No obstante, el agregado de algas es beneficioso para la calidad de la leche y la cantidad de esperma, es probable que esto se deba al alto

contenido de vitamina E, o a la acción del yodo orgánico sobre las tiroides (Canales, 1997).

El crecimiento poblacional e industrial y la inadecuada planificación del uso y conservación del agua, han propiciado la contaminación de los cuerpos de agua, estos se potabilizan con tecnologías de purificación convencionales en plantas de tratamiento mediante procedimientos físicos, químicos, biológicos y sus combinaciones. Uno de los procedimientos biológicos emplea algas marinas, y se aplican al tratamiento de aguas residuales para eliminar contaminantes como el amonio y el fósforo, estas aguas residuales tratadas pueden utilizarse en el riego de hortalizas. La técnica implica la extracción de compuestos naturales como los alginatos, ubicados en la pared celular de las algas pardas, estos sirven como espesantes y gelificantes para formar pequeñas esferas, en las que se encapsulan microalgas como *Chlorella sorokiniana* y bacterias como *Azospirillum brasilense* que absorben residuos tóxicos del agua (Alfonso y Blanco, 2008)

La producción de biocombustible, específicamente biodiésel, es otro de los usos de las microalgas, del cual se obtiene un aceite de microalgas patagónicas, para ello las algas destinadas a la extracción del aceite se siembran y cosechan en invernaderos. El biodiésel combina, además del aceite de microalgas, desperdicios de merluza y de calamar, también un aceite producido a partir de la rosa mosqueta (*Rosa rubiginosa*) planta perteneciente a la familia *Rosaceae*; arbusto originario de Europa, que igualmente crece en la Cordillera de Los Andes, de cuyas semillas se obtiene el aceite de Rosa Mosqueta. En el biodiésel, adicionalmente se incluye aceite de cocina; este biocombustible ya se ha empleado con éxito para impulsar buques pesqueros en Suramérica (Tronfi, 2007).

#### 4.6 Algas Marinas y su Uso en la Agricultura

Las algas marinas han sido utilizadas como fertilizantes desde los principios de la agricultura en Japón y China, en Grecia, en las islas y costas del noroeste europeo y en Chile (Meier, 1942).

La agricultura y horticultura en las zonas templadas usan con frecuencia como fertilizantes los productos de algas pardas tales como: *Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia máxima* y *Fucus vesiculosus* (Metting *et al.*, 1990). Se emplean con menor frecuencia, especies de *Laminaria* y *Sargassum*. Aunque éstas dos pertenecen a las algas pardas, su uso ha sido determinado principalmente por su tamaño y disponibilidad antes que por una determinación específica conveniente. En Chile, el alga roja *Gracilaria* es utilizada como abono en los cultivos de papa (Kim, 1970)

El tratamiento de cosechas con algas ha crecido en popularidad, lo cual ha conducido al desarrollo de un gran número de productos. Estos se pueden encontrar de las siguiente formas: 1) harinas (algas secadas y molidas en un polvo grueso), usadas en grandes volúmenes para suplementar suelos o para mezclar en medios definidos, en los invernaderos, 2) polvos, y 3) extractos líquidos y concentrados empleados para enraizar, remojar suelos y como aspersores foliares (Metting *et al.*, 1990). Los extractos líquidos son hechos mediante una serie de procesos que incluyen la agitación de un macerado de alga en agua caliente, hidrólisis ácida o alcalina con o sin vapor y a presión. En el método más reciente, se produce un concentrado sin tener que acudir a un tratamiento químico o con calor. El material es sometido a un cambio rápido de presión que rompe los componentes estructurales de las células permitiendo liberar prácticamente todos los constituyentes intracelulares, incluyendo los reguladores de crecimiento del alga (RCPs). Las harinas y los extractos líquidos son hechos del mismo tipo de alga o especie y por tanto tiene ciertas cualidades comunes. Por ejemplo, ambos proveen al menos muchas trazas de elementos minerales (Bula, 2004).

Tradicionalmente, las comunidades costeras de todo el mundo han estado utilizando algas como enmienda del suelo. El efecto del fertilizante de algas compostado es dependiente de su composición, patrón de mineralización bioquímica y la sincronización de los nutrientes con la demanda de los cultivos (Craigie, 2010; Rebours *et al.*, 2014).

Fox y Cameron (1961) y López *et al.* (1995) mencionan que, al aplicar foliarmente extractos de algas marinas, las enzimas que éstas contienen refuerzan en las plantas su sistema inmunitario (más defensa) y su sistema alimentario (más nutrición) y activan sus funciones fisiológicas (más vigor). Además, las microalgas cianofitas que los extractos de algas conllevan, ya sea que se apliquen foliarmente o al suelo, fijan el nitrógeno del aire aún en las no leguminosas (Martínez y Salomón, 1995).

Al aplicar algas marinas o sus derivados al suelo, sus enzimas provocan o activan en él reacciones de hidrólisis enzimáticas catalíticas reversibles que las enzimas de los seres vivos que en él habitan e inclusive las raíces no son capaces de hacer en forma notoria de tal manera que, al reaccionar con las arcillas silícias o las arcillas de hidróxidos más arena, actúan del compuesto que se encuentra en mayor cantidad en favor del que se encuentra en menor proporción y tiende a llevarlo al equilibrio; o sea, al suelo franco ajustando también el pH (Reyes, 1993).

Extractos de algas marinas como biofertilizantes, son materiales bioactivos naturales solubles en agua, son fertilizantes orgánicos naturales que promueve la germinación de semillas y que incrementa el desarrollo y rendimiento de cultivos (Norrie y Keathley, 2005). Se utilizan como suplementos nutricionales, bioestimulantes o biofertilizantes en la agricultura y horticultura (Hernández *et al.*, 2014).

#### **4.6.1 Efecto de las algas**

El incremento en los rendimientos y la buena calidad de los frutos como efecto del uso de las algas marinas y o sus derivados en la agricultura, se debe a que las algas marinas contienen: todos los elementos mayores, todos los elementos menores y todos los elementos traza que ocurren en las plantas; además 27 sustancias naturales reportadas hasta ahora cuyos efectos son similares a los de los reguladores de crecimiento de las plantas; vitaminas, carbohidratos, proteínas, sustancias biocidas que actúan contra algunas plagas y enfermedades, y agentes quelatantes como ácidos orgánicos y manitol (Metting *et al.*, 1990; Crouch y Van Staden, 1992; Canales, 2000).

Las algas aplicadas a los suelos, tienen dos funciones principales: 1) como fertilizantes, promueven el crecimiento de la planta ya que liberan lentamente los nutrientes minerales y orgánicos, y 2) como acondicionador del suelo, mejorando la aireación y adicionando estabilidad (Metting *et al.*, 1990)

##### **4.6.1.1 Sobre el suelo**

La propiedad de acondicionamiento del suelo por el alga es atribuida al ácido algínico, el cual comprende cerca de 1/3 del contenido de los carbohidratos que contiene la planta (Quastel y Webley, 1947). Al descomponerse, éstos se hunden en el suelo y fomentan la multiplicación de las bacterias propias del mismo. Esta acción acondicionadora del suelo mejora la estructura haciéndolo más particulado y estable y por lo tanto favoreciendo la capacidad del suelo de retener agua. Al mismo tiempo los nutrientes son liberados dentro del suelo para ser asimilados por las plantas.

Los elementos trazas inorgánicos retenidos en el suelo, no pueden ser utilizados por las plantas, sin embargo, éstos pueden ser liberados y hacerse disponibles cuando se mezclan las algas con el suelo. Aunque cualquier material vegetal en putrefacción reduce el nitrógeno disponible, las algas descompuestas tienen menor efecto porque contienen muy poca celulosa (5%, a

diferencia de las plantas terrestres que son muy ricas y de ahí su gran rigidez) (Aitken y Senn, 1965).

#### **4.6.1.2 Sobre las plantas**

Las respuestas de las plantas a la aplicación de las algas son múltiples y variadas. Estas incluyen una mayor cosecha, incrementan la absorción de los nutrientes, cambios en la composición del tejido de la planta, aumenta la resistencia al congelamiento y a las enfermedades fúngicas y ataque de insectos, alargan la vida del fruto, mejoran la germinación de la semilla e incrementan la clorofila y el tamaño de las hojas (Metting *et al.*, 1990).

Químicamente las algas son ricas en minerales y carbohidratos y su concentración supera mucho más a las de proteínas y grasas. Por lo general un alga no procesada tiene un contenido similar de N al de muchos abonos animales, con menos P, pero con más K, total de sales y gran disponibilidad de micronutrientes (Stephenson, 1974; Surey y Morris, 1987).

Las algas incluyen un amplio rango de aminoácidos y vitaminas esenciales para el crecimiento que podrían ser utilizados por las plantas en el cultivo (Bula, 2004). Los minerales o elementos trazas no son los únicos que hacen a las algas deseables. Existen compuestos bioactivos que pueden influenciar el crecimiento celular (Metting *et al.*, 1990).

Estos son las hormonas conocidas como auxinas, giberilinas y citoquininas. Ellas no sólo actúan directamente sobre el crecimiento de las plantas, sino que también parecen actuar como catalizadores para estimular las hormonas de la planta misma. Los experimentos por muchos años compararon la nutrición de plantas con algas con aquellas con compuestos sintéticos, demostrando que las últimas tienen un desarrollo más pobre de la raíz, área foliar y crecimiento que las tratadas con algas (Bula, 2004).

En la agricultura la aplicación de extracto de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) al suelo muestran la mejora significativa del desarrollo y rendimiento de cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.). (Dogra y Mandradia, 2014). De igual forma al cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*) variedad Italica. (Lola *et al.*, 2014). La aplicación al suelo y foliar de extractos de algas marinas (*Sargassum spp.*) resultó en incrementos en rendimientos de 44% en trigo (*Triticum aestivum*) variedad AN Tongo, 50% en chile serrano (*Capsicum annuum* L.), 24% en cilantro (*Coriandrum sativum*), 78% en tomate de cascara (*Phisalis ixocarpa brot.*) cv Imperial, 23% en papa (*solanum tuberorum*) cv Alfa (Canales, 2000).

#### 4.7 AlgaEnzims®

La empresa Palau Bioquim S.A. de C.V. consciente del constante deterioro que existe en el suelo y el agua particularmente; ha desarrollado productos que van con la agricultura sustentable, entre ellos Algaenzims® (Figura 1).

Es un potenciador orgánico elaborado a base de macro y microalgas marinas, mediante un proceso patentado tal, que conserva todos los elementos y atributos por lo que las enzimas sintetizadas por las algas permanecen activas (vivas) aun dentro del producto envasadas (Palau Bioquim, 2015).



Figura 1. AlgaEnzims®

Debido a que es un producto biológico contiene un complejo de microorganismos (que en forma natural viven asociados con las algas marinas), especialmente las microalgas cianofitas y microorganismos halófilos. Contiene en forma natural, todos los elementos mayores (Cuadro 1), secundarios, menores y traza que ocurren en las plantas, reguladores de crecimiento naturales (auxinas, citocininas, giberelinas, algunos, eventualmente, en más de 1000 ppm), agentes quelatantes, carbohidratos, vitaminas, aminoácidos, proteínas (complejos enzimáticos).

**Cuadro 1. Composición del extracto concentrado de algas marinas AlgaEnzims® (Palau Bioquim, 2015)**

Compuesto	Porcentaje	Elemento	Ppm (mg/L)	Elemento	Ppm (mg/L)
Acondicionadores*	93.84	Potasio	14,800	Cobre	147
Materia Orgánica**	4.15	Nitrógeno	14,500	Manganeso	72
Proteína	1.14	Sodio	13,660	silicio	4
Fibra Cruda	0.43	Magnesio	1,320	Molibdeno	< 0.1
Cenizas	0.28	Fosforo	750	Bario	< 0.1
Azúcares	0.13	Calcio	620	Estaño	< 0.1
Grasas	0.03	Zinc	505	Talio	< 0.1
		Hierro	440	Níquel	< 0.1
		Cobalto	275	Antimonio	< 0.1

Debido a que este producto es 100% natural, este análisis puede variar debido a las variaciones individuales de las algas

\*Afines e Inherentes a las algas marinas

\*\*Material algáceo



## 5. DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Dentro de las actividades realizadas durante la estancia en el Laboratorio de Revaloración de Residuos del CINVESTAV Unidad Saltillo y la Empresa Palau Bioquim S.A. de C.V. se participó en dos proyectos, además de distintas actividades que se realizan en la empresa antes mencionada.

En ambos proyectos se evaluó el efecto de Algaenzims<sup>®</sup> (producto fabricado por la Empresa Palau Bioquim S.A. de C.V.) en las características del suelo, la diferencia radica en que en uno de ellos se determinó la producción de CO<sub>2</sub>.

### 5.1 Establecimiento del Experimento

#### 5.1.1 Ubicación del Experimento

Ambos experimentos se establecieron el 7 de Julio bajo condiciones de invernadero en las instalaciones de la empresa Palau Bioquim S.A. de C.V., el cual se encuentra ubicado en la zona centro de la ciudad de Saltillo con una latitud de 25° 25' 6.45'' N, longitud 101° 01' 38.17'' O y altitud de 1,604 msnm (**Figura 2**). El experimento se realizó durante Julio – Septiembre del 2015.

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen, modificado por García (1973) el clima de Saltillo pertenece a un seco estepario. El clima de la región es extremoso, seco semicálido, que corresponde a las zonas semiáridas del norte de México, presenta una temperatura media anual de 19.8 °C y una mínima de hasta -10 °C. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose las más altas en los meses de mayo y junio con 236 y 234 mm respectivamente.



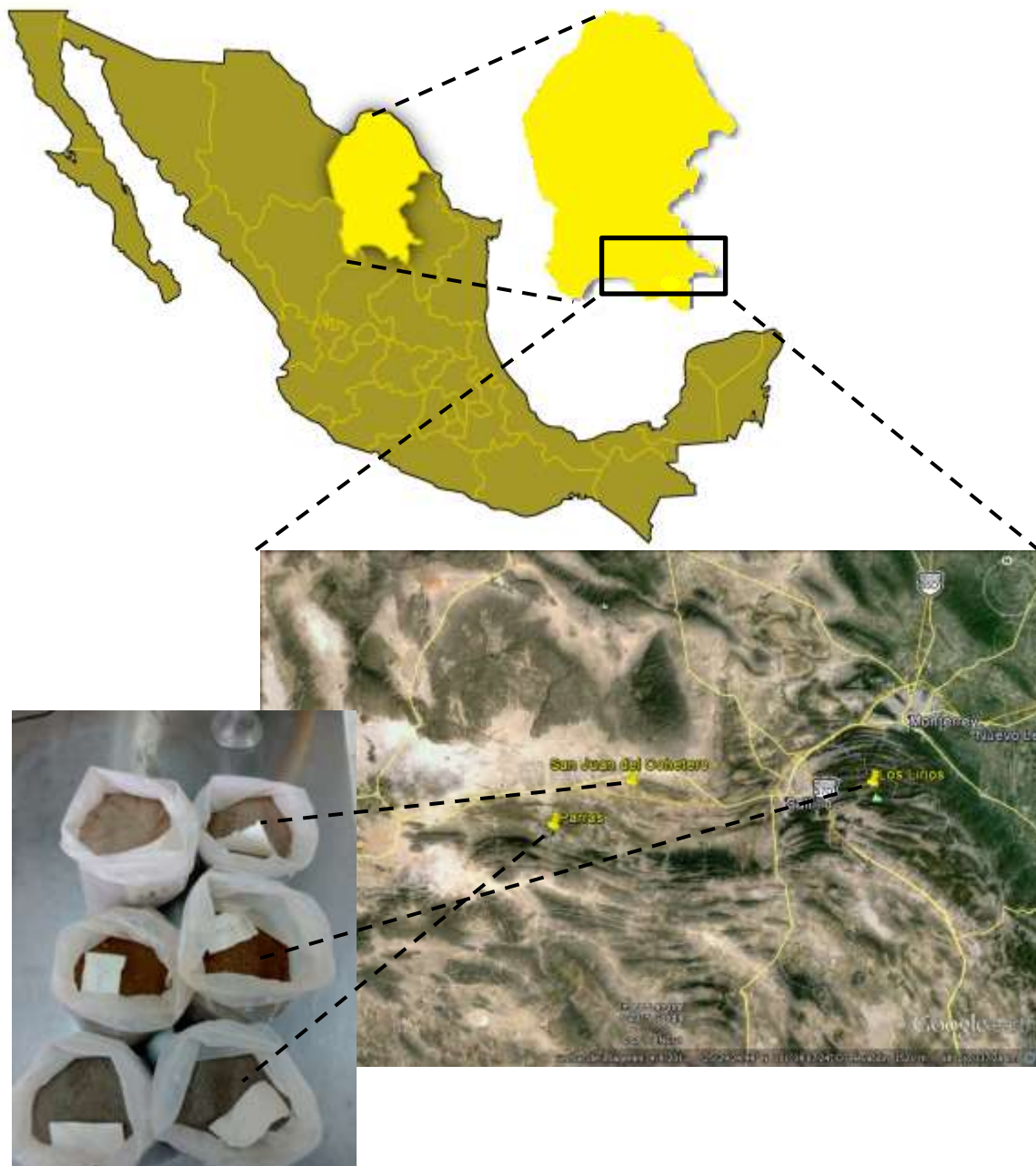
**Figura 2. Localización del Invernadero donde se Estableció el Experimento**

### **5.1.2 Obtención de Suelos**

Se utilizaron tres tipos de suelos para este estudio, radicando su diferencia en el contenido de Carbonatos (bajo, medio y alto), obteniéndose de distintos lugares del estado de Coahuila, México (**Figura 3**).

El suelo con un bajo contenido de carbonatos se obtuvo del Ejido Los Lirios, Municipio de Arteaga (latitud  $25^{\circ} 23' 28.10''$  N, longitud  $100^{\circ} 35' 12.10''$  O y altitud de 2,310 msnm), en el Ejido San Juan del Cohetero, Municipio de General Cepeda (latitud  $25^{\circ} 34' 59.82''$  N, longitud  $101^{\circ} 45' 16.16''$  O y altitud de 1,261 msnm) se consiguió el suelo con un contenido medio de carbonatos y el

suelo con alto contenido de carbonatos se obtuvo en el Municipio de Parras a una altitud de 1,294 msnm, latitud 25° 26' 43.24" N y longitud 102° 08' 59.26" O.



**Figura 3. Localización de donde se Obtuvieron los Tres Tipos de Suelo**

### 5.1.3 Acondicionamiento del Reactor

Se utilizaron garrafas cilíndricas de plástico de una capacidad de 3.78 L (1 gal) con un diámetro de 15 cm. Cada tapa se le acondiciono un tapón de hule (utilizados en medicamentos inyectables) con la ayuda de un cautín, posteriormente alrededor de cada tapón de hule se le colocó plastilina epóxica para evitar cualquier fuga de gas.

Se comprobó que todos los reactores no tuvieran ninguna fuga; se identificaron y se le añadió 1.700 Kg de suelo. Respecto al segundo experimento, se llenaron macetas de 7.56 L (2 gal) y se identificaron previamente (**Figura 4**).



**Figura 4. Establecimiento de los Reactores y Macetas**

### 5.1.4 Diseño Experimental

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con tres tratamientos y un testigo (T1: Testigo; T2: Fertilizante; T3: Fertilizante más Algaenzims<sup>®</sup>; T4: Algaenzims<sup>®</sup>) y tres repeticiones (un reactor o maceta por cada repetición).

### **5.1.5 Aplicación de los Tratamientos**

El suelo de cada reactor o maceta se llevaron a capacidad de campo. En el caso del testigo ( $T_1$ ) se regó con agua. Para el  $T_2$  se aplicó el fertilizante Triple 17 en base a 800 Kg por hectárea. En el  $T_3$  se utilizó el mismo fertilizante más Algaenzims<sup>®</sup> al 3 %. Finalmente al  $T_4$  solo se le aplicó Algaenzims<sup>®</sup> al 3 %.

### **5.2 Variables Evaluadas**

Todas las variables se evaluaron antes y después del establecimiento del experimento; se realizaron muestreos cada tres semanas posteriores al establecimiento. Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de la empresa Palau Bioquim S.A de C.V.

#### **5.2.1 Aislamiento y Cuantificación Microbiológica del Producto AlgaEnzims<sup>®</sup> y del Suelo**

Esto se realizó con el fin de caracterizar las propiedades microbiológicas del producto Algaenzims<sup>®</sup> proporcionado por Palau Bioquim S.A. de C.V. y conocer la carga microbiológica de cada tipo de suelo.

Se realizó el aislamiento y la cuantificación de gérmenes aerobios mesofílicos (también conocidos como bacterias aerobias mesofílicas), mohos y levaduras, halófilos y fijadores de nitrógeno presentes en el biofertilizante Algaenzims<sup>®</sup>; a estos cuatro grupos microbianos se les proveyó las condiciones ambientales y nutricionales requeridas para cada uno de ellos.

Se aplicó la técnica de diluciones seriadas yendo de  $10^{-1}$  a  $10^{-6}$  en una solución salina. La solución salina se preparó utilizando 9 g de cloruro de sodio (NaCl) en 1 L de agua destilada, para la dilución  $10^{-1}$  se vertió en un matraz erlenmeyer 90 ml de esta solución y posteriormente se esterilizó en autoclave eléctrico (All American Modelo No 75X), en una cámara de flujo laminar (Biobase Modelo BBS-V800) se le añadió 10 ml del biofertilizante y para el suelo se ocuparon 10 g. En cuanto a las demás diluciones se utilizaron tubos

con 9 ml de solución salina previamente esterilizados agregándole 1 ml de la solución antecesora.

De cada tubo de dilución de  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  se tomó 1 ml y se transfirió a una caja petri esterilizada (obteniendo cuatro cajas petri por cada dilución). Mediante la técnica de vertido en caja se le añadió aproximadamente de 20 a 25 ml de cada tipo de agar. Como se mencionó antes se utilizó un medio selectivo para cada uno de los distintos microorganismos estos fueron los siguientes:

- ✓ Agar Nutritivo (bacterias aerobias mesofílicas): se preparó según las especificaciones del recipiente 23 g del medio liofilizado comercial para 1 L de agua destilada.
- ✓ Agar Sabouraud (mohos y levaduras): se añadió 65 g del medio liofilizado comercial en 1 L agua destilada según las especificaciones del recipiente.
- ✓ Agar para microorganismos halófilos: en 1 L de agua destilada se le añadió 34.5 g agar nutritivo (medio liofilizado comercial) y 30 g de cloruro de sodio (NaCl).
- ✓ Agar para microorganismos fijadores de nitrógeno: se ocupó 10 g de NaCl, 10 g de manitol y 15 g de agar agar (medio liofilizado comercial).

Una vez solidificadas se pasaron a incubación (Incubator Digital Model 12-140E) a la temperatura óptima de desarrollo de los microorganismos 27 °C en un periodo de cinco días. Transcurrido el tiempo determinado se realizó el conteo de los microorganismos de cada grupo mediante las lecturas de unidades formadoras de colonias (UFC). Para obtener la UFC/mL el valor obtenido se multiplica por la dilución correspondiente (**Figura 5**).

De igual manera se realizaron distintos monitoreos microbiológicos a lotes de este producto comercial, siendo una actividad constante que lleva a cabo la empresa para asegurar la calidad de su producto.



**Figura 5. Aislamiento y Cuantificación de Diferentes Grupos Microbianos**

### 5.2.2 Carbonatos

Primeramente cada suelo se tamizo con una malla de 2 mm y se colocaron en una estufa de secado (Arsa Modelo AR-290) a una temperatura de 70 °C para realizar las determinaciones correspondientes.

Para determinar el porcentaje de carbonatos se utilizó la técnica AS-29 de la NOM-021 (SEMARNAT, 2000) con ciertas modificaciones. Primeramente se pesó con precisión una muestra de 2.5 g de suelo (Balanza Analítica OHAUS®) y se transfirió a un matraz erlenmeyer con capacidad de 250 ml al que se le agregaron 50 ml de ácido clorhídrico (HCl) con una normalidad (N) de uno. Esta mezcla se agito mecánicamente (Labnet S2025-XLD-B) por el lapso de 30 min a 130 rpm, transcurrido el tiempo se dejó sedimentar para posteriormente pipetear 20 ml del sobrenadante y colocarlo en un matraz

erlenmeyer con capacidad de 250 ml. Al sobrenadante se le agrego ocho gotas de bromotil azul (1%) y finalmente se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 1N (**Figura 6**).

Para obtener el porcentaje de carbonatos de la muestra se sustituyeron los valores obtenidos, en la siguiente formula:

$$\% \text{ Carbonatos} = \frac{[(A * B) - (C * D)] * 0.05}{E} * 100$$

Dónde:

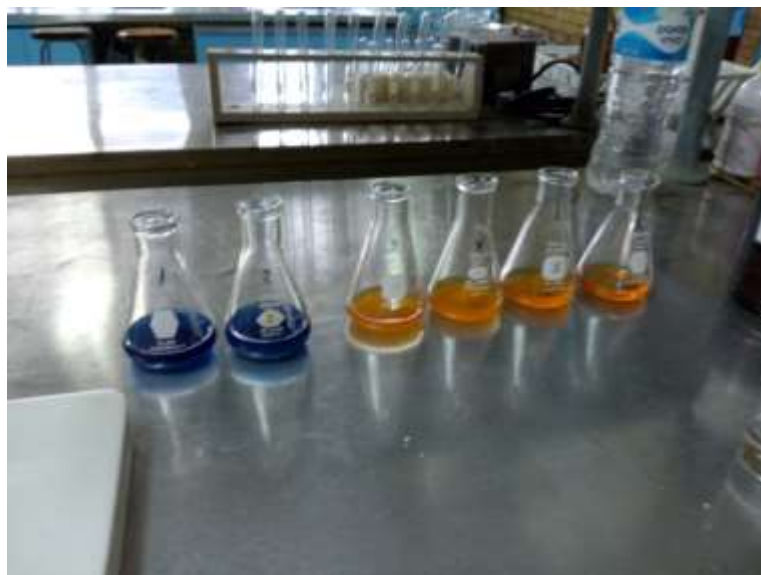
A= Mililitros tomados del sobrenadante

B= Normalidad del ácido clorhídrico (HCl)

C= Mililitros gastados del hidróxido de sodio (NaOH) en la titulación

D= Normalidad del hidróxido de sodio

E= Gramos de la muestra en base a los mililitros tomados del sobrenadante



**Figura 6. Determinación de Carbonatos**



### 5.2.3 Materia Orgánica

El porcentaje de materia orgánica se determinó por el método Walkey-Black (1934) la cual consiste en pesar con precisión una muestra de 0.5 g de suelo (Balanza Analítica OHAUS®) en un matraz erlenmeyer de 250 ml al que se agregaron exactamente 5 ml de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1N, mientras se agitaba suavemente se le incorporaron 10 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado. Después de 10 min se añadió 50 ml de agua destilada y cinco gotas de ortofenantrolina para posteriormente titularlo con sulfato ferroso ( $Fe_2SO_4$ ) 1N (**Figura 7**).

Para obtener el porcentaje de materia orgánica de la muestra se sustituyeron los valores obtenidos, en la siguiente formula:

$$\% \text{ Materia Organica} = \frac{[(Z * Y) - (X * W)] * 0.68}{V}$$

Dónde:

Z= Mililitros de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ )

Y= Normalidad del dicromato de potasio

X= Mililitros gastados del sulfato ferroso ( $Fe_2SO_4$ ) en la titulación

W= Normalidad del sulfato ferroso

V= Gramos de la muestra



**Figura 7. Determinación de Materia Orgánica**

#### **5.2.4 Potencial de Hidrógeno (pH) y Conductividad Eléctrica**

Ambos parámetros fueron medidos utilizando el procedimiento AS-02 medido en agua de la NOM-021 (SEMARNAT, 2000) con ciertas modificaciones. La determinación de estas dos variables se realizaron simultáneamente con un medidor portátil marca Hanna modelo HI9813-5 el cual fue calibrado usando dos soluciones buffer de pH conocido 4 y 7, en cuanto a la conductividad eléctrica se utilizó una solución calibradora a 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Hanna HI17031). Las soluciones buffer se colocaron en probetas con capacidad de 100 ml, después fue insertado el electrodo alternativamente en las probetas que contenían las distintas soluciones y fue ajustado el pH junto con la conductividad eléctrica.

Posteriormente fueron pesados exactamente 20 g se suelo (Balanza Analítica OHAUS®) el cual se colocó en un frasco con capacidad de 100 ml y se le añadieron 40 ml de agua destilada. Por un lapso de 30 min se agito mecánicamente esta mezcla (Labnet S2025-XLD-B). Transcurrido el tiempo se tomaron las lecturas (**Figura 8**).



**Figura 8. Determinación de pH y CE**

### 5.2.5 Producción de CO<sub>2</sub>

Se tomaron dos muestras por cada reactor (utilizando Vacutainer® para su almacenamiento), estas se llevaron al Laboratorio de Revaloración de Residuos del CINVESTAV en donde se analizaron por cromatografía de gases (Marca Agilent Technologies Modelo 7890) y de esta manera determinar la producción de dióxido de carbono (**Figura 9**).



**Figura 9. Cromatografía de Gases**

### **5.3 Actividades extras pertinentes a la empresa Palau Bioquim**

#### **5.3.1 Inventario de Laboratorio**

Se participó en un inventario general del material existente en el laboratorio con el que cuenta la empresa Palau Bioquim S.A. de C.V. para la realización de monitoreos de los distintos lotes de sus productos al igual que para la investigación científica.

#### **5.3.2 Visitas a Huertos para la Demostración de los Productos**

Debido a que los productos que maneja la empresa Palau Bioquim van dirigidos a productores, se tuvo la oportunidad de visitar un viñedo que se encuentra cerca de Derramadero; para aplicar en distintas concentraciones (0.7% y 1%) el producto de Hierro denominado Ferrum Mn (6% Fierro - 3% Manganeso).

Las parras se encontraban en llenado de fruto y manifestaban una clara deficiencia de hierro por tal razón se realizó la aplicación del producto a cierto número de plantas y de esta manera se dio a conocer al productor la funcionalidad del biofertilizante al medir posteriormente las unidades spad obteniéndose 14.6 sin aplicación, 22.7 con la dosis al 0.7% y 23.4 al 1% (**Figura 10**).



**Figura 10. Visita a Viñedo**

## 6. RESULTADOS

Debido a la confidencialidad de datos por parte de la empresa Palau Bioquim S.A. de C.V. los resultados se dan a conocer de manera general.

### 6.1 Variables evaluadas

#### 6.1.1 Aislamiento y cuantificación microbiológica del producto Algaenzims® y del suelo

Con el fin de evaluar la variabilidad de la carga microbiana de cada uno de los distintos grupos microbianos de interés del producto Algaenzims® se efectuó el aislamiento y la cuantificación, al igual que para los tres distintos suelos.

Guerra (2010) y Martínez (2011), reportan las mismas concentraciones de los distintos grupos microbianos en el producto Algaenzims®. En el Cuadro 2 se muestra las concentraciones de microorganismos del producto de interés reportadas en unidades formadoras de colonias (UFC) por mililitro de producto. Observándose que se encuentran en el producto mayor cantidad de fijadores de nitrógeno, seguido por los gérmenes aerobios mesofílicos y los halófilos, sin embargo también se puede observar que el contenido de mohos y levaduras es mucho menor a comparación de las fracciones microbianas antes mencionadas.

**Cuadro 2. Cuantificación de los diferentes grupos de microorganismos presenten en Algaenzims® (Guerra, 2010; Martínez, 2011).**

<b>Grupo Microbiano</b>	<b>UFC/ml de Producto</b>
<b>Mesofílicos</b>	$4.90 * 10^3$
<b>Mohos y Levaduras</b>	$5.00 * 10^1$
<b>Fijadores de Nitrógeno</b>	$2.50 * 10^4$
<b>Halófilos</b>	$1.00 * 10^1$

El bajo crecimiento de algunos microorganismos encontrados en la cuenta realizada al producto Algaenzims<sup>®</sup>, puede originarse debido a la inhibición de dichos componentes microbianos al no encontrar las condiciones apropiadas pueden llegar a mostrar un buen crecimiento.

Se demuestra que el producto cuenta con estos diferentes grupos microbianos provenientes de las materias primas utilizadas en su producción y que pueden jugar un papel muy importante como microorganismos estimuladores del crecimiento vegetal (Guerra, 2010)

Debido a que se realizó una inoculación de microorganismos marinos procedentes de Algaenzims<sup>®</sup>, los conteos posteriores a la aplicación del biofertilizante tendieron a aumentar en los tres tipos de suelo, siendo más marcado en los reactores debido a la humedad existente. Siendo esto benéfico ya que por la invasión misma y su gran adaptabilidad al medio juegan un papel importante en la disminución de la población de microorganismos patógenos, además de sintetizar sustancias benéficas para las plantas tales como: reguladores de crecimiento (auxinas, giberelinas y citocininas), antibióticos, aminoácidos, entre otros (DEAQ, 2015).

### **6.1.2 Carbonatos**

La aplicación del biofertilizante al suelo tiende a reducir la cantidad de carbonatos totales. Méndez (2014), reporta que en plantaciones de vid cv Shiraz se redujo el 10.25 % de carbonatos totales al aplicar 2 L ha<sup>-1</sup> AlgaEnzims<sup>®</sup>, 4 L ha<sup>-1</sup> Turboenzims<sup>®</sup> y 1 L ha<sup>-1</sup> AlgaRoot<sup>®</sup> (tratamiento) en el suelo en comparación con el control (testigo, 45.83% de carbonatos totales).

### **6.1.3 Materia Orgánica**

El contenido de materia orgánica es incrementado. Núñez (1981), menciona que la materia orgánica altera las propiedades físicas y químicas del suelo y contribuye a la formación de horizontes (procesos pedogenéticos) o en

otros procesos formadores del suelo. También es la base de la actividad biológica del suelo, influenciando características de importancia agrícola como el contenido de fósforo, el ciclo de nitrógeno, la estructura del suelo y sus condiciones asociadas de infiltración de agua, permeabilidad y aireación. Blunden (1973), reporta que los derivados de algas mejoran el suelo.

Campos (2012), menciona que la materia orgánica es incrementada en un 90.57% en el estrato 0.00 - 0.15 m al aplicar piedra caliza ( $1 \text{ Ton ha}^{-1}$ ), alga tratada molida 3 ( $20 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (producto en desarrollo por la empresa Palau Bioquim, S.A de C.V.) y el producto comercial Algaenzims<sup>®</sup> ( $1 \text{ L ha}^{-1}$ ) directamente al suelo en el cultivo de maíz (*Zea mays*).

Cruz (2013), señala que la materia orgánica es incrementada estadísticamente en un 13.55% a los 43 días después de la siembra en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) al utilizar  $2 \text{ L ha}^{-1}$  de Algaenzims<sup>®</sup> al momento de la siembra.

#### **6.1.4 Potencial de Hidrógeno (pH) y Conductividad Eléctrica**

El uso del extracto de algas marinas en el suelo tiende a ajustar el pH a neutro, es decir, en suelos alcalinos baja el pH y en suelos ácidos lo sube, además baja el contenido de sales. Guillen (2011), menciona que a la profundidad de 0.0-0.30m es incrementado el pH de 6.3 a 6.4 al aplicar al suelo  $2 \text{ L ha}^{-1}$  del producto AlgaEnzims<sup>®</sup>; el valor de la conductividad eléctrica baja de 0.32 dS/m a 0.27 dS/m (0.00-0.15m) y en la profundidad (0.15-0.30m) de 0.28 dS/m a 0.26 dS/m en 5 meses.

Campos (2012), menciona que el pH es incrementada en un 16.08% en el estrato 0.15 – 0.30 m al aplicar piedra caliza ( $1 \text{ Ton ha}^{-1}$ ), alga tratada molida 1 ( $20 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (producto en desarrollo por la empresa Palau Bioquim, S.A de C.V.) y el producto comercial Algaenzims<sup>®</sup> ( $1 \text{ L ha}^{-1}$ ) directamente al suelo en el cultivo de maíz (*Zea mays*). Con respecto a la conductividad eléctrica para el estrato 0.00 – 0.15 m el tratamiento de piedra caliza ( $1 \text{ Ton ha}^{-1}$ ), alga tratada



molida 3 ( $20 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (producto en desarrollo por la empresa Palau Bioquim, S.A de C.V.) y el producto comercial Algaenzims<sup>®</sup> ( $1 \text{ L ha}^{-1}$ ) reduce en un 43.75 % la conductividad en comparación con el testigo ( $4.6 \text{ pH}$  y  $0.32 \text{ dS m}^{-1}$  respectivamente).

### **6.1.5 Experiencia Profesional**

Otro gran resultado logrado y de invaluable valor es haber adquirido conocimientos nuevos que ayudan a mi formación académica, permitiéndome desarrollar habilidades para poder ser competente en el mundo laboral. El haber tenido la oportunidad de estar en una empresa privada también me permitió poder aplicar a la realidad laboral los conocimientos teóricos adquirido en la Especialidad cursada además de conocer de cerca el funcionamiento interno de la empresa y poder contrastar mis conocimientos y aptitudes con el perfil que demandan.

## 7. CONCLUSIONES

La fabricación de productos que van con la agricultura sustentable, permite a los productores tener alternativas para bajar el uso de fertilizantes sintéticos y de esta manera contribuir al cuidado del medio ambiente.

Los grupos de microorganismos presentes en el producto AlgaEnzims<sup>®</sup> fabricado por la empresa Palau Bioquim S.A. de C.V. son capaces de generar cambios en el suelo

AlgaEnzims<sup>®</sup> permite el mejoramiento del suelo debido a que ayuda a aumentar la materia orgánica, en suelos con alto contenido de carbonatos tiende a bajarlos al igual que el contenido de sales y ayuda a neutralizar el pH.

En lo particular el realizar la estancia en empresas permite el poder desarrollar habilidades y aptitudes que benefician en el mundo laboral.

## 8. REFERENCIAS

- ABOWEI, J.F.N. y E.N. EZEKIEL. The potential and utilization of seaweeds. *Scientia Agriculturae* 4(2):58-66. 2013.
- ACUÑA, O., W. PEÑA, E. SERRANO, L. POCASANGRE, F. ROSALES, E. DELGADO, J. TREJOS and A. SEGURA. Importance of microorganisms for soils quality and health. Brasil, Joinville, Santa Catarina: ACORBAT, 2006. 222-223 pp.
- AFIF K.E. Dinámica del fósforo en suelos cálcicos de áreas mediterráneas: trabajo experimental. España: Editorial Universidad de Oviedo (ediuno), 2005, 91 p. ISBN 84-8317-479-0.
- AITKEN, J.B. and T.L. SENN. Seaweed products as a fertilizer and soil conditioner for horticultural crops. *Bot. Mar.* 8:144-148. 1965.
- AJWA, H.A., C.J. DELL, and C.W. RICE. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tall grass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biol. Biochem.* 31:769-777. 1999.
- ALFONSO, V.Y. y S.M. BLANCO. Algas, aliadas en el pasado y sustento para el futuro. *Revista Tecnología Química* 28(3):46-50. 2008.
- ÁLVAREZ, S.J.D. and M.M.D. ANZUETO. Soil microbial activity under different corn cropping system in the highlands of Chiapas, México. *Agrociencia* 38(1):13-22. 2004.
- ÁLVAREZ, S. La descomposición de material orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. *Ecosistemas, Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente* 14(2):17-29. 2005.
- ARMENTA, B.A.D., C.R. FERRERA, S.A. TRINIDAD, y H.V. VOLKE. 1986. Fertilización e Inoculación con *Rhizobium* y Endomicorrizas (V-A) en Garbanzo Blanco (*Cicer arietinum* L.) en Suelos del Noroeste de México. *Agrociencia* 65:141-160. 1986.
- ARMENTA, B.A.D. Fijación simbiótica de nitrógeno *Rhizobium*-leguminosa. *Inter. CGIP-UAS* 1(1):6-10. 1990.
- ARMENTA, B.A.D., G.C. GARCÍA, B.J.R. CAMACHO, S.M.A. APODACA, M.L. GERARDO y P.E. NAVA. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable Ra Ximhai* 6(1):51-56. 2010.
- AYYAPPAN, S. and S. MISHRA. Bioamelioration in aquaculture with a special reference to nitrifying bacteria. In: I.S.B. Singh, S.S. Pai, R. Philip and A. Mohandas (eds.) *Aquaculture Medicine*. CFDDM, CUSAT, India. Focht,

- D.D. and W. Verstraete. Biochemical ecology of nitrification and denitrification. *Adv. Microb. Ecol.* 1:135-211. 2003.
- BADARUDDIN, M., M.P. REYNOLDS and O.A.A. AGEEB. Wheat management in warm environments: effect of organic and inorganic fertilizers, irrigation frequency and mulching. *Agron. J.* 91:975-983. 1999.
- BAGGS, E.M., M. STEVENSON, M. PIHLATIE, A. REGAR, H. COOK and G. CADISCH. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertiliser under zero and conventional tillage. *Plant Soil* 254:361-370. 2003.
- BASHAN, Y. and G.HOLGUIN. Proposal for the division of plant growth-promoting *Rhizobacteria* into two classifications: biocontrol PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biol. Biochem.* 30:1225-1228. 1998.
- BESOAIN, E. Mineralogía de arcillas de suelos. San José, Costa Rica: Editorial Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA), 1985, 1216 p.
- BHAKUNI, D. and M. SILVA. Biodynamic substances from marine flora. *Bot. Mar.* 27(1):40-51. 1974.
- BLASCO, L.M. Microbiología de Suelos. Turrialba, Costa Rica: Editorial Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA), 1970.
- BLUNDEN, G. Effects of liquid seaweed extracts as fertilizers. *Proc. Seventh International Seaweed Symposium*. In ref. 3. School of Pharmacy, Polytecnic, Park Road, Portsmouth, Hants, England. 1973.
- BLUNDEN, G. and A. CARABOT. Biologically active compounds from marine organisms. Mimeo. 25 p. 1995.
- BOIXADERA, J. y A. CORTÉS. Nitratos, agua y agricultura, un problema moderno de utilización del suelo. *Horticultura* 143(3):44-46. 2000.
- BONADEO, E.; E.R. HAMPP; M.D. BONGIOVANNI; M.I. SELVA y A. ODORIZZI. Relaciones entre propiedades físicas y químicas del suelo y raíces de alfalfa (*Medicago sativa* L.) afectado por manchoneo. *Ciencia del Suelo* 24(2):101-107. 2006
- BORASO, D.A.L. Capítulo I Utilización de las algas marinas. En Ferrario, M. and E. Sar. *Macroalgas de interés económico*. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, 1995, 15-55 pp.
- BULA, M.G. Las macroalgas marinas en la agronomía y el uso potencial del *Sargassum* flotante en la producción de fertilizantes en el archipiélago de

- San Andrés y Providencia, Colombia. Revista Intropica 1:91-103. 2004. ISSN 1794-161X.
- BUTTON, E.F. and C.F. NAYES. Effect of a seaweed extract upon emergence and survival of seedlings of creeping red fescue. Agron. J. 56:444-445. 1964.
- CABALLERO M. J. Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas. Revista Latinoamericana de Microbiología 48(2):154-161. 2006.
- CAMPOS, C.J. Efecto de algunas propiedades del suelo por el uso de un mejorador natural en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 52 p. 2012.
- CANALES, B. Las algas en la Agricultura Orgánica. México: Consejo Editorial del Estado de Coahuila, 1997, 323 pp.
- CANALES, L.B. Enzimas-Algas: posibilidades de su uso para estimular la producción agrícola y mejorar los suelos. Terra 17(3): 271-276. 2000.
- CARDONA, G.W. Cultivos tropicales: Control biológico y su efecto como biofertilizante. Biofertilización 24(1):1524. 2003.
- CASTELLANOS, J.Z. y C.J.J. PEÑA. Los nitratos provenientes de la agricultura. Una fuente de contaminación de los acuíferos. Terra 8(1):113-126. 1990.
- CEPEDA, D.J.M. Química de suelo. México: Editorial Trillas, 1991, 167 p.
- CHARZEDDINE, P.D. and A. LEVY. Vegetable gums modify lectin hemagglutination. Acta Científica de Venezuela 43(5):312-314. 1992.
- CHARZEDDINE, L. and M. FARIÑAS. Propiedades bioactivas de algas marinas del nororiente de Venezuela. Boletín Oceanográfico 40:49-54. 2001.
- CINVESTAV (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional). 2015. Maestría en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Disponible en: <http://www.cinvestav.edu.mx/saltillo/zero>. Revisado 15-11-15.
- CLAVERÁN, A.R., T.L.E. FREGOSO y B.C. SÁNCHEZ. La labranza conservacionista en México. I World Congress on Conservation Agriculture. Madrid, España. 1-5 Octubre 2001.
- CRAIGIE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. Journal of Applied Phycology 23(3): 371-393. 2011.
- CROUCH, L. and J. VAN STADEN. Evidence of the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. Department of Botany,

University of Natal, Republic of South Africa: Editorial Kluwer Academic Publishing The Netherlands, 1992.

- CROVETTO, C. Stubble over the soil. The vital role of plant residue in soil management to improve soil quality. Special publication 19. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA. 1996.
- CRUZ, G.P. Efecto de productos formulados con algas marinas en características del suelo, fisiología, producción y calidad del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 70 p. 2013.
- DEAQ (Diccionario de Especialidades Agroquímicas).2015. ALGAENZIMS<sup>®</sup> Extracto líquido viable de algas marinas. Potenciador orgánico de uso foliar y al suelo. Disponible en: <http://www.agroquimicos-organicosplm.com/algaenzims-103-3#inicio>. Revisado 15-11-15.
- DE LARA, G., S. ÁLVAREZ y C. LOZANO. Actividad antibacteriana de algas marinas de Oaxaca, Pacífico Tropical Mexicano. Antibiosis 1-6 pp. 2005.
- DELGADO, H.M. Los Microorganismos del Suelo en la Nutrición Vegetal. Orius Biotecnología. 2006.
- DOGRA, B.S. and R.K. MANDRADIA. Effect of seaweed extract on growth and yield of onion. International Journal of Farm Sciences 2(1): 59-64. 2014.
- EGHBALL, B., D. GINTING and J.E. GILLEY. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. J. Agron. 96:442-447. 2004.
- ELEIN F.A., A. LEYVA and A. HERNÁNDEZ. Beneficial microorganisms as efficient biofertilisers for tomato crops (*Lycopersicon esculentum* Mill). Revista Colombiana de Biotecnología 8(2): 47-54. 2005.
- ENGELS, C. and H. MARSCHNER. Plant uptake and utilization of nitrogen. pp. 41-81. In: Bacon, P.E. (ed.). Nitrogen fertilization in the environment. Woodlots and Wetlands. Sydney, New Wales, Australia. 1995.
- ERULAN, V., G. THIRUMARAN, P. SOUNDARAPANDIAN and G. ANANTHAN. Studies on the effect of *Sargassum polycystum* (C. agardh, 1824) extract on the growth and biochemical composition of *Cajanus Cajan* (L.) Mill sp. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 6(4):392-399. 2009.
- FAULKNER, D. Marine natural products: metabolites of marine algae and herbivorous marine molluscs. Nat. Prod. Rep. 1:251-280. 1984.
- FOCHT, D.D. and W. VERSTRAETE. Biochemical ecology of nitrification and denitrification. Adv. Microb. Ecol. 1:135-211. 1977.

- FRONTERA, G.M. Conservación del suelo: Biofertilización, aspectos productivos y consecuencias en el manejo y conservación de la fertilidad del suelo. Nota Técnica Crinigan S.A. 2004.
- FOX, B.A. and A.G. CAMERON. Food science, nutrition and health. Sixth Edition. Ed. Edward Arnold, a division of Hodder Headline PLC, London NW1 3BH. 1961.
- FREITAS, J. C. Biomedical importance of marine natural products. Rev. Soc. Bras. Prog. Ciencia 42(1):20-24. 1990.
- FUNDACIÓN PRODUCE. Memoria Agricultura orgánica. Memorias del Curso Eco Agro de de Agricultura Orgánica. Fundación produce Sinaloa. Guamúchil, Sinaloa, México. 7-9 pp. 2006.
- GAIK, E. Fertilizantes de plantas, esterilizantes de suelos. Agricultura y contaminación. Gara, Baigorri. 2007. Disponible en: <http://gara.naiz.eus/paperezkoa/20071014/43003/es/> Fertilizantes-plantas-esterilizantes-tierras. Revisado 14-11-15.
- GARCÍA, E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (adaptada para la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México, México, D.F. 246 pp. 1973.
- GILLIAM, J.W., T.J. LOGAN and F.E. BROADBENT. Fertilizer use in relation to the environment. *In*: Engelstad, O.P. (ed.), Fertilizer technology and use; third edition. Soil Science Society of America, Inc. Madison Wis. USA. 561-588 pp. 1985.
- GLOBAL ORGANICS. 2015. AlgaEnzims<sup>®</sup>. Disponible en: [http://www.globalorganicspe.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=38](http://www.globalorganicspe.com/index.php?option=com_content&view=article&id=38). Revisado 15-11-15.
- GLOMBITZA, K. and M. KOCH. Secondary metabolites of pharmaceutical potential. *In*: Cresswell, R., T. Rees and N. Shah (eds.), Algal and Cyanobacterial Biotechnology. Great Britain. 338 pp. 1989.
- GONZÁLEZ, F. y M. SILVA. Biodiversidad química de macroalgas marinas. *In*: Alveal, K. y T. Antezana (eds.), Sustentabilidad de la biodiversidad, un problema actual. Chile: Bases científico- técnicas, teorizaciones y proyecciones. 896 pp. 2001.
- GUERRA, E.N.E. Modificaciones edáficas en suelos modelo (caolinita, fosforita y piedra caliza) por ALGAENZIMS<sup>MR</sup> y algunas de sus fracciones microbianas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México. 144 p. 2010.
- GUILLEN, C.R.A. Evaluación de Alganezims<sup>MR</sup>, Algaroot<sup>MR</sup>, Turboenzims<sup>MR</sup>, Quitaflor y Mayor el Cultivo de Papa *Solanum tuberosum* L. Variedad

- Norteña. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 2011.
- GUPTA, V.P., H BOCHOW, S. DOLEJ and I FISCHER. Plant growth-promoting *Bacillus subtilis* strain as potential inducer of systemic resistance in tomato against *Fusarium wilt*. Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 107 (2):145-154. 2000.
- HANS, W.F. Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba, Costa Rica: Editorial Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA), 1985, 378 p.
- HARRISON J.A. El Ciclo del Nitrógeno: de microbios y de hombres. Visionlearning Vol EAS-2 (4S). 2003.
- HAY, M. Marine chemical ecology: what's known and what's next? J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 200:103-134. 1996.
- HAYNES, W.C., L.J. WICKERHAM and C.W. ESSELTINE. Maintenance of cultures of industrially important microorganisms. Appl. Microbiol. 3(6):361-368. 1985.
- HERNÁNDEZ, A., N. RIVES, A. CABALLERO, A.N. HERNÁNDEZ y M. HEYDRICH. Caracterización de *Rizhobacterias* asociadas al cultivo del maíz en la producción de metabolitos del tipo AIA, sideróforos y ácido salicílico. Revista Colombiana de Biotecnología 6(1):49-56. 2004.
- HERNÁNDEZ, H.R.M., R.F. SANTACRUZ, L.M.A. RUIZ, J. NORRIE and C.G. HERNÁNDEZ. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Applied Phycology 26(1): 619-628. 2014.
- INGRAHAM, J.L. and C.A. INGRAHAM. Introducción to microbiology. Ed. Wadsworth publishing company an international Thomson publishing company. 1998.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). Guía para la asistencia técnica agrícola Valle del Fuerte. Soya para grano. Los Mochis, Sinaloa. 160-172 pp. 1990.
- JOHN L.C.M., G.M. VELÁSQUEZ, A. VANTOUR y R.F. RIVERO. Fertilizantes Organominerales, Una Alternativa en el Manejo Ecológico de los Suelos Ferralíticos rojos. Mapping interactivo, Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, MINBAS, Cuba. 2006.
- JUO, A.S.R., A. DABIRI and K. FRANZLUEBBERS. Acidification of akaolinitic Alfisol under continuous cropping and nitrogen fertilization in West Africa. Plant Soil 171: 245-253. 1995.



- KANNANGARA, T., R.S. UTKHEDE, J.W. PAUL and Z.K. PUNJA. Effects of mesophilic and thermophilic composts on suppression of *Fusarium* root and stem rot of greenhouse cucumber. *Can. J. Microbiol.* 46:1021-1028. 2000.
- KEENEY, D. R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. *Farmed soils, fertilizer, agroecosystems. Agronomy. A series of monographs-Americans Society of Agronomy* 22:605-649. 1982.
- KIM, D.H. Economically important sea weeds, in Chile-I. *Gracilaria*. *Bot. Marina* 13:140-162. 1970.
- KINGMAN, A.R. and J. MOORE. Isolation, purification and quantification of several growth regulating substance in *Ascophyllum nodosum* (*Phaeophyceae*). *Botanica Marina* 25:149-153. 1982.
- KLOEPFER, J. W., M.N. SCHROTH and T.D. MILLER. Effects of Rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. *Phytopathology* 70:1078-1082. 1980.
- LIRA, S.R.H. y T.J.G. Medina. Agricultura sustentable o sostenible?: El reto es producir alimentos saludables utilizando productos y técnicas amigables con el ambiente. Congreso Internacional de Agricultura Sustentable, Saltillo, Coahuila, México. 24-27 Octubre 2007.
- LITTERICK, A.M., L. HARRIER, P. WALLACE, C.A. WATSON and M. WOOD. The role of uncomposted materials, composts, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production. *Critical Reviews in Plant Science* 23(6):453-479. 2004.
- LOLA, L.T., F. HENNEQUART AND M. GAFFNEY. Effect on yield, total phenolic, total flavonoid and total isothiocyanate content of two broccoli cultivars (*Brassica oleraceae* var *italica*) following the application of a commercial brown seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*). *Agricultural and Food Science* 23(1):28-37. 2014.
- LONG, P.E. y W.D. GRANT. Ecología Microbiana, Significado de los Microorganismos en el Ambiente. *Microbiología Ambiental*. Capítulo 1º. Ed. Acribia. 213 p. 1996.
- LÓPEZ, D.A., R.M. WILLIAMS, K. MIEHLKE y J. MAZANA. Enzimas, fuente de vida. Fundación de Investigación Inmunológica (IERF). Monticelo Place, Evanston, Illinois, USA. Ed. en español, Edika Med., S.L., Barcelona, España. 1995.
- LÓPEZ, M.E. and P. PAZOS. Effects of seaweed on potato yields and soil chemistry. *Biological Agriculture and Horticulture* 14:199-205. 1997.

- LUCY, M., E. REED and B.R. GLICK. Applications of free living plant growth-promoting *Rhizobacteria*. *Antonie Van Leeuwenhoek* 86:1-25. 2004.
- LUNA, G.C.M.L., J.C. VEGA, H.M.O. FRANCO, M.J. VAZQUEZ, T.N. TRUJILLO, T.E. RAMIREZ y L. DENDOOVEN. Actividad microbiana en suelos. *Avances y perspectiva* 21:328-332. 2002.
- MA, Y., J.Y. ZHANG and M.H. WONG. Microbial activity during composting of anthracenecontaminated soil. *Chemosphere* 55:1505– 1513. 2003.
- MALAKOUTI, M., M. NAVABZADETH and S.H.R. HASHEMI. The effect of differents amounts of N-fertilizer on the nitrate accumulation in the edible parts of vegetables. *In: Anac D. y P.P. Martin (edits), Improved Crop Quality by Nutrien Mnagement*. Kluwer Academic Publisher. London. 43-45 pp.1999.
- MARTÍNEZ, G.F.D., B.D.L. OJEDA, R.O.A. HÉRNANDEZ, T.J.J. MARTÍNEZ y Q.G. DE LA O. El exceso de nitratos: un problema actual en la agricultura. *Revista Synthesis* 57:11-16. 2011.
- MARTÍNEZ, L.J. y J. SALOMÓN. Efecto de un extracto de algas y varios fitorreguladores sobre el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Gigant. Tesis de Doctorado. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 1995.
- MARTÍNEZ, P.E.D. Modificaciones edáficas en suelos modelo (arena, arena más aluminioy arena más fierro) por ALGAENZIMS<sup>MR</sup> y algunas de sus fracciones microbianas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México. 127 p. 2011.
- MARTÍNEZ, R.J.J., M.H. CURTIS. Soil classification in arid lands whith thematic mapper data. *Terra Latinoamericana* 20:(2):89-100. 2002.
- MAYNARD, D.N., A.V. BARKER, P.L. MINOTTI and N.H. PECK. Nitrate accumulation in vegetables. *Adv. Agron.* 28:71-118. 1976.
- MAYZ, F.J. Fijación biológica de nitrógeno. *Rev UDO Agri.* 4(1): 1-20. 2004.
- MEIER, F. Useful algae. *Smithsonian Rep.* 3667:401-451. 1942.
- MÉNDEZ, L.P. Fertilización a base de extractos de algas marinas y su relación con la eficiencia del uso del agua y de la luz de una plantación de vid y su efecto en el rendimiento y calidad de fruto. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 51 p. 2014.
- MÉNDEZ, M.J. y S.E. VITERI. Alternativas de biofertilización para la producción sostenible de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Cucaita, Bocayá. *Agronomía Colombiana* 25(1):168-175. 2007.

- MENGEL, K. and E.A. KIRKBY. Principles of plant nutrition. 3rd Edition. International Potash Institute. Switzerland. 569-572 pp. 1982.
- METTIN, G.B., W.J. ZIMMERMAN, I.J. CROUCH and J. VAN STADEN. Agronomic uses of seaweed and microalgae. In: Akatsuka, I. (Ed). Introduction to Applied Phycology SPB Academic Publishing, The Hague, Netherlands. 589-627pp. 1990.
- MOTSARA, M.D. and N. DETHI. Guide to laboratory, establishment for plant nutrients analysis. India y R.N. Roy Food and agricultura organization Rome, Italy. 2008.
- NORRIE, J. y J.P. KEATHLEY. Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine plant extract applications to 'Thompson seedless' grape production. (Proceedings of the X<sup>th</sup> International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production). Acta Hort. 727(1):243-248. 2005.
- NÚÑEZ S.J. Fundamentos de Edafología. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia, 1981.
- OLALDE, P.V. and G.L.I. AGUILERA. Microorganisms and Biodiversity. Terra Latinoamericana 16(3):289-292. 1998.
- PALAU BIOQUIM S.A. DE C.V. 2015. Portal de Internet de la Empresa. Disponible en: <http://www.palaubioquim.com.mx/>. Revisado 15-11-15.
- PEÑA, C.J.J., C.O.A. GRAJEDA y N.J.A. VERA. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (15N). Terra 20:51-56. 2001.
- PÉREZ, C.J. Agricultura ecológica: una alternativa al desarrollo sustentable en el campo mexicano. El Cotidiano 20(127):95-100. 2004.
- PÉREZ S. and A. TORRALBA. La Fijación del nitrógeno por los seres vivos. Seminario Fisiología Vegetal, Facultad de Biología Oviedo. 21 pp. **1997**.
- PÉREZ, S., A. LEVY y S. GÓMEZ. Presencia de lectinas, taninos e inhibidores de proteasas en algas marinas de las costas venezolanas. Acta. Cient. Venez. 49:144-151. 1998.
- PRETTY, J. Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. Philosophical Transaction of royal society B. 363:447-465. 2008.
- PUCKETT, L.J. Identifying the major sources of nutrient water pollution. Environmental Science and Technology. 408-414 pp. 1995.
- QUASTEL, J.H. y D.M. WEBLWY. 1947. The effects of adition to soil of alganic acid and of other forms of organic matter on soil aeration. J. Agric. Sci. 37:257-266. 1947.

- QUITRAL, V., C. MORALES, M. SEPÚLVEDA y M. SCHWARTZ. Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *Revista Chilena de Nutrición* 39(4): 196-202. 2012.
- RABIE, G.H. and A.A. HUMIANY. Role of VA mycorrhiza on the growth of cowpea plant and their associative effect with N<sub>2</sub> fixing and P-solubilizing bacteria as biofertilizer in calcareous soil. *J. Food Agric. Environ.* 2:186-192. 2004.
- RAMANATHAN, V., R.J. CICERONE, H.B. SINGH and KIEHL. Trace gas trends and their potential role in climate change. *J. Geophys. Res.* 90:5547-5566. 1985.
- REBOURS, C., S.F. PEDERSEN, I. OVSTHUS and M. ROLEDA. Seaweed a resource for organic farming. *Bioforsk Fokus* 9(2):107. 2014.
- RESENDIZ, H.F.; R.J.J.J. HERNÁNDEZ; A.E. LÓPEZ; V.M.A. GARCÍA y N.J. VAZQUEZ. Fertilización Química, Orgánica y Combinada en Caña de Azúcar en la zona de Tala Jalisco. *Agronomía Avances en la investigación científica en el CUCBA.* 152-157 pp. 2005.
- REYES, R.D.M. Efecto de algas marinas y ácidos húmicos en un suelo arcilloso y otro arenoso. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah., México. 1993.
- RICHARDS, B.N. *The microbiology of terrestrial ecosystems.* LST; John Willy and Sons. Inc. New York. 1987. 327-329 pp.
- ROBLEDO, D. Las algas y la biodiversidad. *CONABIO. Biodiversidad* 13(1):1-4. 1997.
- RODRÍGUEZ, C.A. y L.K.C. SÁNCHEZ. Análisis Físico Químico del suelo del parque Tagle. Centro Universitario, México A.C. 2007.
- SAMPER, C.F.J. y G.A. PAZ. Estimación del drenaje y lavado de nitratos en un sistema de cultivo de cereal de invierno en condiciones de secano y clima mediterráneo húmedo. *Estudios de la zona no saturada del suelo.* Vol. VII, 2005.
- SATHYA, B., H. INDU, R. SEENIVASAN y S. GEETHA. Influence of seaweed liquid fertilizer on the growth and biochemical composition of legum crop, *Cajanus cajan* (L.) mill sp. *Journal of Phytology* 2(5):50–63. 2010.
- SENN, T.L. Seaweed and plant growth. Traducido al Español por Benito Canales López, crecimiento de alga y planta. Ed. Alpha Publishing Group, Houston. Texas. USA. 1987.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2015. NOM-021-SEMARNAT-2000 Norma oficial mexicana, que establece las

especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx>. Revisado 14-08-2015

- SHENTU, J.; Z. HE y X. YANG X. Microbial activity and community diversity in a variable charge soil as affected by cadmium exposure levels and time. *J Zhejiang Univ Sci B*. 9(3):250-260 2008.
- SIAME, L.; B. OLIVER; R. BRACHER; M. SEBRIER; M. CUSHING; D. BOURLES; B. HAMELIN; E. BARCUY; B. DE VOOGD; G. RAISBECK and F. YIOU. Local erosion rates versus active tectonics: cosmic ray exposure modelling in provence (South-east-france). *Earth and planetary science letters* 220(3):345-364. 2004.
- SLIFKIN, M. y R. DOYLE. Lectins and their application to clinic microbiology. *Clinic. Microbiol. Rev.* 3(3):197-218.1990.
- STAINER, R.Y., J.L. INGRAHAM, M.L. WHEELIS y P.R. PAINTER. *Microbiología*. Barcelona, España: Editorial Reverté S.A., 1992.
- STEIN, J. y C. BORDEN. Causative and beneficial algae in human disease conditions: a review. *Phycologia*. 23(4):485-501. 1984.
- STEPHENSON, W.A. *Seaweed in agriculture and horticulture*. Pauma Valley, California: Bargula and Glyver Rateaver, 1974, 241 pp.
- SUREY, G.S. y G. MORRIS. *Seaweed: A user's Guide*. London: Whitter Books Ltd. 1987, 160 pp.
- THOMPSON, L.M. y F.R. TROEH. *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona, España: Editorial Reverté, 1988, 639 p.
- TREJO, A.D., C.L. LARA, R.R. ZULUETA, M. LÓPEZ, A.H. MOREIRA y E. CÉSAR E. *Agricultura Microbiológica y Productividad Sostenible*. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana. Vol. 18 (3). 2005.
- TRONFI, A. 2007. Por primera vez zarpó un barco movido por biodiesel. Disponible en: [http://www.lanacion.com.ar/Archivo/nota.asp?nota\\_id=926597](http://www.lanacion.com.ar/Archivo/nota.asp?nota_id=926597). Diario La Nación, Buenos Aires. Revisado 13-11-15.
- UAAAN (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). 2015. Especialidad en Manejo Sustentable de Recursos Naturales de Zonas Áridas y Semiáridas. Disponible en: <http://www.uaaan.mx/postgrado/index.php/presentacionmanejosusrnyca.html>. Revisado 13-11-15
- VERKLEIJ, F.N. *Seaweed extracts in agriculture and horticulture: A review*. *Biological Agriculture and Horticulture* 8:309-324. 1992.

- VITERI, R.S.E. Selección de cultivos de cobertura con potencial para el desarrollo agrícola sostenible en el municipio de Samacá, Boyacá. Tesis de Maestría en Desarrollo Rural. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. 150 p. 2002.
- VILLARREAL, R.M., R.V. PÉREZ y C.J.H. SILLER. Fertirrigación nitrogenada y potásica, y su efecto en la producción y calidad del tomate, en el Valle de Culiacán, Sinaloa. *Horticultura Mexicana* 7:358-367. 1999.
- VILLARREAL, R.M., V.S. HÉRNANDES, P.P. SÁNCHEZ, E.R.S. GARCÍA, E.T. OSUNA, T.S. PARRA y B.A.D. ARMENTA. Efecto de cobertura del suelo con leguminosas en rendimiento y calidad del tomate. *Terra Latinoamericana* 24(4):549-556. 2006
- VILLARREAL, S.J.A. Búsqueda del principio activo del extracto de algas marinas ALGAENZIMS<sup>MR</sup> Biotratamiento agrícola. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México. 2003.
- VILLARREAL, S.J.A., A. ILYINA, J.L.P. MÉNDEZ, T.V. ROBLEDO, H.B. RODRÍGUEZ, L.B. CANALES y M.J. RODRÍGUEZ. Isolation of microbial groups from a seaweed extract and comparison of their effect on a growth of pepper cultura (*Capsicum annuum* L.). *BECTH. MOCK. УН-ТА. СЕР. 2. ХИМИЯ* 44(1):92-96. 2003.
- VOLKE, H.V., J. F. REYES y B.C. MERINO. La materia orgánica del suelo como función de factores físicos y el uso y manejo del suelo. *Terra* 11:85-92. 1993.
- WALKEY, A. AND I.A. BLACK. An examination of degtjareff method for determination soil organic matter and proposed modification of the chromic acid in soil analysis. I. Experimental. *J. Soil Sci.* 79:459-465. 1934.