

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS, CONTABLES Y
AGROPECUARIAS



Fertilización orgánica a base de algas marinas y una micorriza en el cultivo de trigo en el Valle del Yaqui, Sonora, México

TESIS

Gabriela Chávez Villalba

Santa Ana, Sonora

Septiembre del 2014

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Fertilización orgánica a base de algas marinas y una micorriza en el cultivo de trigo en el Valle del Yaqui, Sonora, México

TESIS DE MAESTRIA

Sometida a consideración del Departamento
de Administración Agropecuaria

de la

División de Ciencias Administrativas, Contables y Agropecuarias
de la Universidad de Sonora

por

Gabriela Chávez Villalba

Como requisito parcial para obtener el grado
de

Maestro en Ciencias Agropecuarias

Santa Ana, Sonora

Septiembre del 2014

ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL COMITÉ TUTORIAL,
APROBADA Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN
DEL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

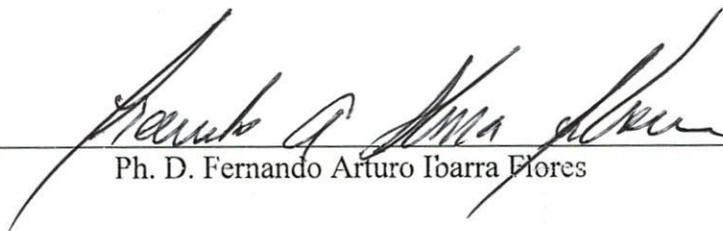
COMITÉ TUTORIAL:

DIRECTOR:



Ph. D. Miguel Alfonso Camacho Casas

CO-DIRECTOR:



Ph. D. Fernando Arturo Ibarra Flores

ASESOR:



Ph. D. Erasmo Valenzuela Cornejo

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora, orgullosamente mi Alma Mater, en reconocimiento y gratitud por todo lo que me ha dado, gracias a la cual he logrado encontrar sentido a la vida y la necesidad de ser útil a la sociedad. En especial, agradezco a su División de Posgrado, Unidad Norte, *Campus Santa Ana* por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría, y a quien debo también la inquietud de seguir aprendiendo y de encontrar en el conocimiento un camino de libertad.

Al Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por las facilidades que me fueron otorgadas en la elaboración de esta tesis; tanto en el aspecto teórico como en el experimental de la misma. Quiero dejar constancia de mi agradecimiento a mi querido amigo el Dr. Miguel Alfonso Camacho Casas, por la confianza que siempre me ha conferido, lo cual ha sembrado en mí el deseo constante de superarme; asimismo, al Dr. Edgar Omar Rueda Puente, por su acertado liderazgo y por brindarme su confianza y amistad, de igual manera me es grato reconocer el generoso apoyo brindado por el Dr. Erasmo Valenzuela Cornejo, cuyo soporte moral y atinada orientación han sembrado en mí un espíritu de superación profesional.

Así mismo, quiero hacer patente mi agradecimiento al Ing. Benito Canales López de la Compañía Palau Bio-Buim, S.A de C.V, quien me transmitió su acertada visión en relación al establecimiento de una agricultura más amable y ecológica, como lo es la agricultura orgánica. A la Dra. Martha Martín Rivera y el Dr. Fernando Ibarra Flores por su invaluable contribución en mi vida profesional y por su asesoría para la realización de este trabajo. A mis hijos que a la postre representan el motivo supremo de este modesto trabajo.

DEDICATORIA

A mis queridos hijos Iván Alexis y Gabriel que representan la inspiración principal en mi vida. A mi amada madre Francisca Villalba que junto con mi padre Antonio Chávez (finado), me heredaron los valores morales y espirituales que humildemente ostento en este mundo. A mis hermanos Rosalia, María Encarnación, Alma Luz y Antonio Chávez Villalba por el honor inmerecido de considerarme punto referencial en nuestra familia.

A mis queridos amigos Don Luis Arreola Quijada y el Dr. Juan Manuel Valenzuela Valenzuela, dedico este trabajo en agradecimiento por su agradable compañía, asesoría y por la gran amistad que nos une.

A la vida misma por esta segunda oportunidad.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
Características generales de las algas.....	7
Clasificación de las algas.....	8
Composición química de sus pigmentos.....	8
Composición química de sus componentes nutricionales.....	9
Características físico-químicas de las paredes celulares.....	10
Formas de reproducción de las algas.....	10
Fertilizantes elaborados a base de algas marinas.....	11
Efectos producidos por las algas en las plantas.....	14
Las algas y la materia orgánica.....	17
Extracto de algas en la aplicación foliar.....	18
Los biofertilizantes y los micronutrientes.....	20
Las algas y los microorganismos.....	23
Análisis foliares.....	26
Fuentes de nitrógeno en la nutrición del trigo.....	26
Contenido de proteínas en trigo.....	33
MATERIAL Y MÉTODOS.....	36
Localización del sitio experimental.....	37
Clima.....	37
Suelo.....	38

	Página
Agua de riego.....	38
Material genético.....	39
Diseño experimental y análisis estadístico.....	39
Establecimiento del experimento.....	41
Fertilización.....	43
Aplicación de agroquímicos.....	43
Cosecha.....	45
Variables evaluadas.....	45
Rendimiento en grano.....	45
Análisis de proteína en el grano.....	45
Panza blanca.....	48
Peso de mil granos.....	48
Peso hectolítrico.....	50
Fuerza del gluten.....	50
Punta negra.....	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
Rendimiento de grano (t/ha).....	55
Análisis económico.....	58
Proteína en grano.....	60
Panza blanca.....	63
Fuerza de gluten.....	66
Peso de mil granos, peso hectolítrico y punta negra.....	66

	Página
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Clasificación de variedades de trigo de acuerdo al valor de W x 10-4 J y P/L.....	51
Cuadro 2. Análisis de varianza del rendimiento de grano (ton/ha) en tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug. Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.....	56
Cuadro 3. Comparación de medias de rendimiento (ton/ha) obtenido bajo diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug. Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.....	57
Cuadro 4. Comportamiento de los diferentes tratamientos de fertilización, análisis de costo-beneficio y costo debido a la fertilización en trigo en el Valle del Yaqui, Sonora, México.....	59
Cuadro 5. Análisis de varianza de proteína en grano (%) en tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug. Ciclo otoño-invierno 2008-2009.....	61
Cuadro 6. Comparación de medias de proteína en grano (%) bajo diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug, Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.....	62
Cuadro 7. Análisis de varianza de panza blanca en grano (%) en tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug, Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.....	64
Cuadro 8. Comparación de medias de panza blanca en grano (%) bajo diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug, Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009....	65
Cuadro 9. Fuerza de gluten en trigo harinero bajo diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug, Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009	68
Cuadro10. Peso de mil granos, peso hectolítrico, punta negra en trigo harinero en diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug, Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura química básica de los ácidos húmicos y los fúlvicos, propuesta por Stevenson, 1984.....	29
Figura 2. Distribución de los tratamientos de fertilización química y biofertilizantes en trigo en el Sur de Sonora, México.....	40
Figura 3. Trazo de parcelas experimentales de los diferentes tratamientos de fertilización química y biofertilizantes en trigo en el Sur de Sonora, México.....	42
Figura 4. Fertilización inorgánica al voleo en los diferentes tratamientos de fertilización química y biofertilizantes en trigo en el sur de Sonora, México.....	44
Figura 5. Cosecha de trigo de las diferentes parcelas de fertilización química y biofertilizantes en el sur de Sonora, México.....	46
Figura 6. Equipo NIR-Perten 1241 para el análisis de proteína en grano.....	47
Figura 7. Granos de trigo harinero del testigo absoluto con panza blanca.....	49
Figura 8. Figura alveográfica de trigo harinero.....	52
Figura 9. Muestras de granos sanos e infectados con punta negra.....	54

RESUMEN

El estudio fue desarrollado en terrenos del Campo Experimental Norman E. Borlaug INIFAP, Valle del Yaqui, durante el ciclo otoño-invierno 2008-2009. Se evaluaron en campo diferentes formas de aplicar tratamientos con algas marinas, micorrizas, así como fertilizantes inorgánicos en trigo harinero panadero variedad Kronstad F2004. Los objetivos primordiales de este trabajo fueron, incrementar el rendimiento en grano así como estimular el aumento de proteína en el grano de este cereal. Los tratamientos evaluados corresponden a: 1. Testigo absoluto (Sin fertilización), 2. Testigo regional (100% Fertilización Regional – F.R), 3. Aplicación de micorrizas + 50% de F. R, 4. Aplicación foliar de algas marinas + 50% F.R, 5. Aplicación de algas al suelo + 50% F.R, 6. Aplicación de algas al suelo + Foliar +50% F. R, 7. Tratamientos de algas marinas a la semilla + 50% F.R. 8. Aplicación de bagazo de algas 100 + 50% F.R y 9. Aplicación de bagazo de algas 500 de algas + 50% F.R. El diseño experimental usado en campo, corresponde a un bloques al azar con tres repeticiones y se utilizó el paquete estadístico SAS para el análisis de los datos obtenidos. Los resultados conseguidos indican diferencias significativas entre tratamientos para la variable rendimiento de grano, arrojando un promedio de 5.41 t/ha en el experimento, con una variación entre 2.48 y 6.40 t/ha entre los diversos tratamientos. Los tratamientos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9, no presentaron diferencias significativas con respecto al rendimiento de grano por hectárea. Sin embargo, el tratamiento 3 y 6, resultaron con ganancias económicas de \$ 693.00 y \$ 234.50 pesos por tonelada producida, respectivamente. El contenido de proteína en grano, mostró diferencias significativas un promedio general de 11.75%, con una variación de 9.83% (para el testigo absoluto) y 13.09% (para el testigo regional). Todos los tratamientos con excepción del

testigo absoluto, no manifestaron disturbios nutricionales como la panza blanca, por lo que se considera que la planta de trigo encontró elementos nutricionales adecuados en los biofertilizantes utilizados para que el cultivo se desarrollara en forma normal. La fuerza de gluten presentó diferencias significativas al 5% en la prueba de Tukey. Los tratamientos 2 y 4 mostraron valores que los clasifica como de gluten fuerte, el resto de los tratamientos se comportaron como de gluten medio. Las variables Peso de Mil granos, Peso Hectolítrico y Punta Negra no presentaron diferencias significativas. Se recomienda el uso de fertilizantes orgánicos elaborados a base de algas marinas y micorrizas como complemento a la fertilización inorgánica nitrogenada. Este experimento evidenció que es posible disminuir hasta en un 50% el uso de los fertilizantes inorgánicos, sin que ello afecte el rendimiento de la producción de trigo ni la calidad del mismo. También se evidenció un abatimiento en los costos de producción, lo cual permite la generación de mayores ganancias para los productores. Se requiere de establecer experimentos de este tipo a mediano y largo plazo con lo cual se obtendrían mejores parámetros para medir la eficiencia de estos fertilizantes orgánicos, pudiendo predecir mejores resultados al paso del tiempo, en la medida que se logre un progreso en las características fisicoquímicas y biológicas del suelo, y con esto, un mejoramiento en la calidad nutricional de los productos del campo, lo que redundará en beneficio de la salud humana. El uso de la fertilización orgánica permitirá la reducción del consumo exagerado de petróleo y con ello disminuir el desperdicio de materias primas que se genera por la lixiviación de los derivados nitrogenados, y con ello la contaminación de los mantos acuíferos. Finalmente se puede mencionar el hecho de que, a diferencia de los inorgánicos derivados del petróleo, las algas marinas y las micorrizas representan un recurso renovable.

ABSTRACT

This study was developed on the grounds of the Norman E. Borlaug - INIFAP, Yaqui Valley - Experimental Station during the autumn winter agricultural cycle 2008-2009. Different ways to apply seaweed, mycorrhizal, and inorganic fertilizing treatments were evaluated in field in Kronstadt F 2004 baker bread wheat variety. The treatments are: 1. Absolute control (no fertilization), 2. Regional control (100% inorganic fertilization R F), 3. Application of mycorrhizae + 50% RF. 4. Seaweed Foliar + 50% RF, 5. Application of algae down + 50% RF, 6. Application of algae down + Foliar F. + 50% RF, 7. Seaweed treatments to seed + 50% RF, 8. Application of algae bagasse 100 + 50% R.F. and 9. Application of algae bagasse 500 + 50% R.F. The experimental design used in the field, corresponding to a randomized block with three replicates. The results indicate significant differences between treatments for grain yield variable, averaging 5.41 t/ha in the experiment, and ranging between 2.48 and 6.04 t/ha between the various treatments. Treatments 3, 4, 5, 6 7, 8 y 9 showed no significant differences with respect to grain yield per hectare. However, treatment 3 and 6, evidenced economic gains of 693.00 and 234.50 pesos respectively per ton produced, due to production cost reductions. In relation to grain protein content, the results show an overall average of 11.75%, with a variation of 9.83% (for the absolute control) and 13.09% (for regional control). All treatments with the exception of absolute control, showed no nutritional disorders such as white belly, so it is considered that the wheat plant found adequate nutritional requirements in the biofertilizers used for the crop to develop normally. The strength of gluten showed significant differences at 5% on Tukey test. Treatments 2 and 4 showed values which classifies them as of strong gluten, the other treatments behaved like medium gluten. The Weight of

thousand grains, Hectolitic Weight and Black tip variables did not show significant differences. It is recommended the use of organic fertilizer based on algae marine and micorrhizae to supplement the nitrogenous inorganic fertilization. This experiment showed that it is possible to reduce by 50% the use of inorganic fertilizers, without affecting the wheat production yield or its quality. It was also evidenced a reduction on production costs, which allows the generation of higher profits for producers. It is required the establishment of experiments of this type in the medium and long term runs whereupon would be obtained best parameters for measure efficiency of these organic fertilizers, being able to predict better outcomes to the passage of time insofar is achieved progress in the physicochemical and biological characteristics of the soil, and with this an improvement on the nutritional quality of the field products, which would improve the human health. The use of organic fertilization will reduce excessive oil consumption and thus reducing raw material waste which is generated by the leaching of nitrogen derivatives, and thus contamination of aquifers. Finally one can mention the fact that, unlike the inorganic fertilizers derived from petroleum, algae marine and mycorrhizae represent a renewable resource.

INTRODUCCIÓN

El trigo es uno de los granos más ampliamente cultivados en el mundo, ya que anualmente son sembradas más de 200 millones de hectáreas, las cuales producen un promedio total de grano que oscila alrededor de los 600 millones de toneladas métricas. La media global de productividad es de 2.7 ton/ha con una alta variabilidad de acuerdo a los diversos países o regiones en donde se cultiva. Los rendimientos más elevados son obtenidos en el occidente de Europa, con un promedio de más de 8 ton/ha, los cuales contrastan con los bajos rendimientos obtenidos en varios países del centro/oeste de Asia y del norte de África, en donde se obtienen rendimientos incluso inferiores a 1 ton/ha.

En México, después del maíz, este cereal es el grano de mayor importancia; y en el ciclo agrícola 2011-12, su producción primaria se estimó en aproximadamente 3,785,630 toneladas, las cuales se concentran principalmente en dos regiones del país: el Noroeste y el Bajío. En la primera se obtiene aproximadamente el 70.2% del total nacional, y esta comprende a los estados de Baja California, Sonora, Sinaloa y Chihuahua. Un 25.3% del total mencionado corresponde a los estados que conforman la región del Bajío; esto es, los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Querétaro. El principal ciclo agrícola para la producción de trigo corresponde al ciclo Otoño-Invierno, en el cual se incluyen los estados de Sonora, Guanajuato, Baja California, Michoacán, Chihuahua, Jalisco y Sinaloa. En el ciclo Primavera-Verano, los principales estados productores son Tlaxcala, México, Oaxaca y Guanajuato.

El trigo es un miembro de la familia de las gramíneas. Todos los trigos silvestres o cultivados, pertenecen al género *Triticum*, del cual existen 14 especies conocidas, mismas

que difieren dependiendo del número de cromosomas que posean en sus células. Estas especies son divididas en tres grupos: diploide, tetraploide y hexaploide; sin embargo, sólo dos de ellas se consideran de importancia económica: el *Triticum aestivum*, perteneciente al grupo hexaploide comúnmente llamado trigo harinero o panadero, el cual ocupa casi el 90% de la superficie mundial sembrada y el *Triticum durum*, conocido como trigo duro, el que se utiliza en la fabricación de pastas alimenticias.

Por su valor nutritivo, el trigo constituye uno de los alimentos básicos de la población de México y del mundo, y su consumo es muy popular debido a que sus propiedades permiten elaborar muchas y muy variadas formas de alimentos. La forma más común de su consumo es a través del pan, pero también se usa para elaborar tortillas, galletas, pasteles, atoles y un gran número de productos que se elaboran de acuerdo a las diversas costumbres de las regiones que lo utilizan. Desafortunadamente, en México, la producción de trigo harinero es insuficiente y en la actualidad la industria molinera tiene que importar más del 50% de sus necesidades del trigo panadero que consume (más de 3 millones de toneladas anuales).

En el proceso del cultivo del trigo, el Nitrógeno es el nutriente más importante, y la escasez de este elemento constituye una limitante, tanto del rendimiento de la producción ton/ha, como de la calidad del grano; y por ende, del precio de su comercialización, el cual es establecido por la industria molinera internacional de este cereal, ya que ésta castiga económicamente el producto cuyo contenido de proteína en grano sea menor del 11.5%.

Encuestas realizadas en el sur de Sonora por el Centro de Investigaciones de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), estiman que los agricultores de esta región aplican un promedio de 263 unidades de Nitrógeno por cada hectárea, con lo que se

obtienen rendimientos que, de acuerdo a las condiciones de cada año, varían entre las 5.5 a 6.5 toneladas por hectárea. Con base a los costos de producción evidenciados para el cultivo de trigo en el Valle del Yaqui mismos que son establecidos por el Comité Directivo del Distrito de Desarrollo Rural 148 Cajéme, para el ciclo 2009-2010, los costos de producción del trigo fueron equivalentes al valor comercial de 5.95 t/ha, y de ese total de costos, el de la fertilización nitrogenada en su forma inorgánica, por lo general, representa un 31% del total. En el Valle del Yaqui, un ochenta por ciento del total del trigo cosechado, corresponde a la variedad de tipo duro y el resto (20%) es del tipo harinero.

La agricultura actual basada únicamente en la fertilización química se acerca cada vez más a límites económicos de insustentabilidad, sin contar el hecho de que este tipo de fertilizantes permite que, con su uso continuo, se reduzca paulatinamente la fertilidad de los suelos. También es innegable que, ni los fertilizantes químicos ni los orgánicos por sí solos pueden lograr la sostenibilidad de la producción ya sea por aspectos técnicos o económicos, y en infinidad de trabajos a nivel internacional se ha probado que el uso de los biofertilizantes no sólo mejoran el estado nutricional de los suelos, sino también la salud de la planta y la calidad del fruto, ya que éstos trabajan en forma ecológica, y por ende, sostenible; esto es, en armonía con la naturaleza.

La agricultura tradicional, basada en los fertilizantes inorgánicos la mayoría de ellos derivados del petróleo, coadyuvó a atenuar muchas de las hambrunas que asolaron a la humanidad y en especial al continente Asiático (Pakistán y la India), en la década de los cincuentas del siglo próximo pasado. La llamada Revolución Verde, encabezada por el Dr. Norman E. Borlaug y un selecto grupo de colaboradores, fue iniciada en el Valle del Yaqui, razón por la cual esta región alcanzó celebridad mundial en el ámbito de la ciencias

agrícolas, ya que muchas de las variedades desarrolladas por el mencionado premio Nobel y un grupo de colaboradores, llevaban los nombres de las diversas regiones del sur de Sonora, mismas que se conocieron en gran parte del mundo occidental.

La mayoría de los fertilizantes inorgánicos representan una nutrición muy insuficiente y limitada ya que mediante esta, sólo se agregan a los suelos tres de los más de 20 elementos que las plantas requieren para su desarrollo y reproducción. Estos tres elementos son el Nitrógeno, el Fósforo y el Potasio.

Investigaciones realizadas por el INIFAP y CIMMYT, muestran que el contenido de materia orgánica en los suelos del Valle del Yaqui, ha decrecido en forma dramática. Hace 50 años, su valor era de aproximadamente 3%; hoy día, este valor apenas sobrepasa los 0.5%. Este hecho indica, por sí sólo, que los cultivos no pueden crecer únicamente con la aportación de los fertilizantes inorgánicos tales como la urea, el amoníaco, el nitrato de amonio, el nitrato de potasio, las sales de Fósforo, el Triple 17 y todas esas variantes de la formulación conocida como NPK, ya que además, requieren de los nutrientes incluidos en la materia orgánica presente en el suelo; sólo así se explica ese decremento de la materia orgánica a través del tiempo. Estos datos serían suficientes para alertar a los productores de la posibilidad de una crisis a mediano plazo, derivada de esa pobreza orgánica, cuyas consecuencias podrían ser desastrosas para la comunidad del entorno.

Otro tanto puede decirse del contenido de oligo-elementos o micro-nutrientes, mismos que se han venido retirando del suelo con cada cosecha, sin que los agricultores se preocupen por reponer las cantidades de estos microelementos, que año con año salen del suelo incorporados a las plantas que los consumen. Desafortunadamente, no se cuenta con estudios que verifiquen la disminución de estos micronutrientes con el paso del tiempo, por

lo cual, se requiere de un estudio que oriente sobre este tema, con el fin de evitar problemas mayores como en el caso del abatimiento en el contenido de materia orgánica en los suelos en el Valle del Yaqui.

En este sentido, la agricultura orgánica representa un sistema más holístico, es decir de una metodología integral y que tiene en cuenta a todos los elementos que intervienen en el proceso de la nutrición vegetal; esto es, en relación al equilibrio que debe existir entre todos los subsistemas que componen a la franja autótrofa conocida como suelo, y de cuyo equilibrio depende no solo la integridad nutricional de los productos del campo, sino hasta el éxito en la economía de los agricultores.

El uso de las compostas basadas en el aprovechamiento de los residuos animales y vegetales, han venido a dar un alivio parcial a la problemática anterior; sin embargo, estas formulaciones, aunque relativamente efectivas, son insuficientes para abastecer las necesidades de una agricultura extensiva y dinámica como es la agricultura moderna, ya que si se lograran procesar todos las heces animales, estas compostas no podrían abastecer más que un pequeñísimo porcentaje (2-5%) de los requerimientos de fertilización de la agricultura actual. El uso de los biofertilizantes como es el caso de las algas marinas y los microorganismos, abren la oportunidad de cubrir con sus productos, mayores superficies agrícolas, con resultados verdaderamente positivos, ya que la fertilización con harinas y extractos de algas son una respuesta integral a los requerimientos nutricionales de las plantas; y estos a su vez, benefician la propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Por otra parte, el crecimiento tan espectacular que tienen las algas, permiten tener en estas un recurso renovable y casi ilimitado, lo que asegura la sostenibilidad bajo el sistema de fertilización orgánica.

Cabe mencionar en este punto, que la economía mundial basada en el uso indiscriminado del petróleo, ha llevado a un brutal desperdicio de recursos sin parangón en la historia de la humanidad. Datos de la Food and Agriculture Organization (FAO), permiten conocer que el 70% de los fertilizantes inorgánicos que se aplican a los suelos, nunca benefician a las plantas, ya que estos son lixiviados hacia estratos más interiores de los mencionados suelos. Finalmente, toda esta problemática incide, no solo en la productividad y la calidad de los cultivos de trigo y otros del Valle del Yaqui, sino hasta en el balance económico que los agricultores deben afrontar en busca de la rentabilidad de sus tierras. La lucha por abatir los costos de producción y mejorar las perspectivas de su comercialización, obligan a cambiar los sistemas tradicionales de fertilización inorgánica, si se quiere continuar en el camino de liderazgo de las comunidades agrícolas.

Por lo anterior, en este trabajo se plantean los siguientes objetivos: Establecer y probar en campo un sistema orgánico basado en el uso de algas marinas y hongos micorrizicos, destinado a incrementar los rendimientos de grano por hectárea y establecer la mejor forma de aplicar las algas marinas a el cultivo de trigo. Para lograr tales resultados, se plantea como objetivo principal determinar el efecto de la aplicación de algas marinas en sus diferentes presentaciones y de una micorriza sobre el rendimiento y calidad industrial del cultivo de trigo. La hipótesis planteada del presente estudio fue que el uso de biofertilizantes basados en algas marinas y micorrizas, combinados con una fertilización inorgánica a base de urea permitirá mejorar los rendimientos de grano de trigo y mejorar la calidad industrial del mismo. Como consecuencia del presente proyecto, se proyecta disminuir los costos de producción, logrando con ello un mejor balance económico en el proceso de siembra.

REVISIÓN DE LITERATURA

Características generales de las algas.

Muchas personas creen que las algas al ser tan pequeñas y estar tan dispersas, son de poca importancia en la agricultura; sin embargo, la realidad demuestra todo lo contrario, dado que la mayoría del material vegetal que existe sobre la faz de la tierra, lo constituyen las algas, las cuales llevan a cabo una gran parte de la fotosíntesis total que tiene lugar a lo largo y ancho del planeta. Distribuidas ampliamente en la naturaleza, la mayoría de las algas viven en los lagos, ríos y océanos, y también se les encuentra en abundancia en la capa superficial de los suelos húmedos y aun en los desiertos o ambientes extremos (Seackbach, 2007). En los mares, estas algas llegan a tener longitudes cercanas a los 100 metros, formando verdaderos bosques que dan cobijo y alimento a infinidad de especies marinas (Cronquist, 1977). Las algas varían en tamaño desde células individuales hasta las grandes algas marinas. Algunos tipos de algas son muy notorias, pues forman natas verdes en los depósitos de agua, y contribuyen a formar la capa resbalosa de las piedras que están al margen de los arroyos. Las algas unicelulares y las bacterias son los primeros organismos en colonizar a las rocas desnudas después de una erupción volcánica, ayudando a la formación de un suelo adecuado para el desarrollo de las plantas superiores (Bold y Wynne, 1985).

Las algas son utilizadas por el hombre de muchas maneras: para la obtención del agar, como alimento para el hombre y para ganado, como aditivos en la industria alimentaria, en la producción de cosméticos, como biodiesel y en el uso que es materia de este trabajo; esto es, como fertilizantes orgánicos en suelos agrícolas (Vidal *et al.*, 2001; Demirbas, 2009; Kakoli *et al.*, 2009). En México las algas marinas solamente se han

aprovechado en el estado de Baja California con fines industriales para producir agar, carragenanos, y alginatos (Martínez *et al.*, 2000), a pesar de que son una alternativa por su abundancia.

Clasificación de las algas.

Las algas se dividen en unicelulares y pluricelulares; las unicelulares pueden ser: móviles (con la ayuda de flagelos), inmóviles y ameboideas (estas no tienen pared celular), algunas algas unicelulares se agrupan unidas por mucilagos formando el cenobio. Las algas pluricelulares se agrupan y forman tejido filamentosos en forma de “hojas”, llamado talo. Para la clasificación de las algas pluricelulares los científicos se basan en las siguientes características: Composición química de sus pigmentos, composición química de sus componentes nutricionales, características físico-químicas de las paredes celulares, organización celular y por sus formas de reproducción (Bold y Wynne, 1985).

Composición química de sus pigmentos.

El colorido de las algas se debe a la presencia en sus células de diferentes pigmentos fotosintéticos y de otros pigmentos accesorios (pigmentos que absorben energía luminosa y la pasan a la clorofila, además estos pigmentos accesorios permiten que las algas puedan vivir en una gran variedad de lugares que se podría tener si careciera de ellos. Los pigmentos fotosintéticos incluidos en las algas son sustancias químicas llamadas clorofilas que absorben luz y que les dan un color verde característico. Además, debido a sus propiedades de fotosíntesis, estos pigmentos captan la luz solar y fijan el bióxido de carbono presente en la atmósfera, y lo transforman en azúcares que las plantas procesan para convertirlos en el alimento requerido para su crecimiento y reproducción. Entre estos

pigmentos accesorios se citan los terpenos, los taninos y otros, de los cuales se tratará en un capítulo posterior referente a los tipos de clorofila (Dawes, 1998).

Composición química de sus componentes nutricionales.

Los rayos de luz se componen de distintas longitudes de onda y al ir penetrando en el agua de mar, es decir, a medida que aumenta la profundidad en donde crecen las algas, la luz del sol va perdiendo intensidad y se produce una pérdida de color. De tal manera que pueden haber algas de diferentes clases: rojas (*Rhodophytes*), azules (*Chlyophyta*), marrón (*Pheophytes*), verdes (*Clorofitos*) y pardas (*Ochrophyceae*) principalmente, de acuerdo a la fracción del espectro de luz visible que estas logran absorber (Faulkner, 2002; Khaled *et al.*, 2012).

La composición promedio de las algas frescas es aproximadamente de la siguiente forma: agua (70-80%); materia orgánica (13-25%); Nitrógeno (0.3-1.0%); Potasio (0.8-1.8%) y Fósforo (0.002-0.17%) (Demirbas, 2009). Todas estas constituyen un recurso natural renovable, y están ampliamente distribuidas a lo largo de las costas de los mares. En mayor o menor medida, todas ellas poseen una gran cantidad de polisacáridos sulfatados; también incluyen proteínas con todos los aminoácidos esenciales metionina, isoleucina, leucina, fenilalanina, lisina, histidina, arginina y triptófano, ácidos grasos esenciales, vitaminas, minerales, hormonas, enzimas y fibra dietética, con potencial industrial y agrícola (Demirbas, 2009; Frikha *et al.*, 2011).

Kirkman y Kendrick (1997), mencionan que para la plena utilización de las algas, es imprescindible evaluar el estado nutricional (composición química) y sus propiedades funcionales, y reportan que las algas marrón poseen una cantidad de proteína y carbohidratos totales que oscila entre los 11.20-47.73% en base seca. El contenido de

proteína fue menor a la registrada para algunas especies del mismo género, es decir la *Henslowianum* (11.52%) y la *S fusiforme* (15.38%). La composición de aminoácidos de las proteínas en la especie *S Naozhouence* (alga comestible) se encuentra en un alto porcentaje: leucina (6.52g/100g de proteína y valina (4.64g/100g de proteína). Contiene también todos los aminoácidos esenciales mencionados, los cuales representan el 47.22% del total de proteínas. Así pues, la proteína de esta alga comestible es de una calidad excepcional (Gioseffi *et al.*, 2012).

Características físico-químicas de las paredes celulares.

Las paredes celulares de las algas contienen celulosa y gran cantidad de mucilagos, de los cuales se extrae el ácido alginico, los alginatos y el manitol, los cuales también son compuestos polisacáridos (Bold y Wynne,1985; Lehnhardt *et al.*,2013).

Formas de reproducción de las algas.

Las algas pueden reproducirse en forma sexual, o bien, asexualmente. La reproducción sexual en las algas al igual que en las plantas superiores, implica la producción de gametos. En las algas hay dos tipos de reproducción sexual: la isogamia y la oogamia. En la isogamia, los gametos son aproximadamente del mismo tamaño, y estos son con frecuencia móviles. En la oogamia, los gametos son de tamaño diferente; el femenino es grande e inmóvil; el espermacio es pequeño y móvil (Cronquist, 1977; Bold y Winne, 1985). La reproducción asexual implica la producción de esporas unicelulares; muchas de las esporas asexuales de las algas acuáticas poseen flagelos y son móviles, las esporas no móviles llamadas aplanosporas, pertenecen a los tipos terrestres de las algas (Pelczar, 1984).

Existen diversos tipos de reproducción sexual; a saber el tipo monoico si los gametos masculinos y femeninos se encuentran en el mismo individuo, y el dioico si estos se encuentran en individuos diferentes; sin embargo, aunque algunas especies están limitadas a uno u otro de estos procesos, muchas poseen ciclos complicados de vida, los cuales comprenden ambos tipos de reproducción sexual (Pelczar, 1984).

Fertilizantes elaborados a base de algas marinas.

El tratamiento de los cultivos agrícolas con algas marinas ha crecido en popularidad como un segmento de la agricultura orgánica, por lo que se presenta la tendencia a desarrollar un gran número de productos basados en este tipo de algas procesadas, los cuales se dividen básicamente en dos grupos: a) harinas que se aplican al suelo en grandes volúmenes; o bien, mezcladas con el suelo como sustrato para plantas de invernadero; b), como extracto líquido, el cual pudiera aplicarse foliarmente, o para sumergir en este las raíces de las plántulas en los invernaderos (Metting *et al.*, 1990). Las harinas de algas empezaron a producirse en forma experimental en Noruega en 1960. Estas harinas se obtienen por lo general de algas pardas, mismas que se someten a procesos de secado y molienda (Canales, 2001).

Por siglos, las algas marinas se han usado tal cual de 20 a 30 ton/ha como abono de suelos en superficies cercanas a las playas y costas donde se recolectan. El uso de productos derivados de las algas marinas (harina, extractos, polvos solubles), es relativamente reciente, unos 50 años y, por sus bajas dosis, es factible usarlos en áreas distantes al mar (Senn, 1987). México cuenta con unas 6,000,000 ha de riego y otras tantas de buen temporal. La humedad es condición para que las algas actúen en el suelo y/o foliarmente.

Las algas que proliferan en los extensos litorales con que nuestro país cuenta, es muy probable que sean suficientes para tratar los 12'000,000 de hectáreas mencionadas (Canales, 2001). Los extractos líquidos de algas se utilizan para nutrir las raíces de las plantas en el suelo y para mejorar la retención de humedad: esto es debido a que las algas tienen propiedades higroscópicas, ya que pueden absorber más de 20 veces su peso en agua; razón por la cual el uso de las harinas de algas minimiza los efectos negativos de las sequías. (Booth, 1969; Blunden, 1973; Senn, 1987).

Las harinas de algas aplicadas al suelo tienen dos funciones principales: a) como fertilizante orgánico, con el fin de promover el crecimiento de las plantas a través de la liberación gradual de los nutrientes y minerales, y b) como acondicionador del suelo, ya que estas mejoran la aireación y la estabilidad de los agregados, mejorando con ello la estructura de los mismos (Senn, 1987). Generalmente, las algas frescas, no procesadas tienen tanto nitrógeno como el contenido en los estiércoles; contienen menos Fósforo pero más Potasio, más sales y micronutrientes cuya disposición por parte de la planta es inmediata (Stephenson, 1974; Senn y Kingman, 1978; Bula, 2004).

De entre las algas que se usan con fines de fertilización en la agricultura, la mayoría de los productos existentes en el mercado provienen de las algas pardas conocidas en el mundo de habla inglesa con el nombre de kelp (*Phaeophyceae*), las cuales se cosechan en aguas templadas. Las especies de algas más comúnmente utilizadas en la agricultura son: *Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia máxima* y *Fucus vesiculosus*. La *Laminaria* y el *Sargassum*, son menos usadas por razones de disponibilidad. Aun cuando todas estas algas pertenecen a las *Phaeophyceae*, es probable que el uso de las algas se escoja por su tamaño y abundancia, más que por alguna propiedad o cualidad específica (Lynn, 1972). Las algas pardas

contienen clorofila a y c, acompañadas por pigmentos accesorios; y como sustancia de reserva el manitol y otros polisacáridos. La mayoría de las algas pardas son especies representativas de la franja infralitoral desde Perú hasta Tierra del Fuego, Chile. Especies como *Lessonia* spp, *Durvillaea antarctica* y *Macrocystis* spp son abundantes en estas costas (Vásquez, 2004).

Los extractos líquidos de algas son elaborados mediante algunos procesos que incluyen: maceración y dilución en agua caliente; hidrólisis ácida o alcalina con o sin vapor y la técnica de estallamiento de las células por cambios bruscos en la presión. Mediante este último método, el líquido concentrado es producido sin recurrir a compuestos químicos o tratamiento por calor; el material es sujeto a un rápido cambio de presión con el cual se rompen los componentes estructurales del tejido vegetal; esto permite la liberación de prácticamente todos los componentes intracelulares, incluyendo las hormonas reguladoras del crecimiento (Blunden, 1973; Senn, 1987). Los productos más confiables en las aplicaciones agrícolas de los derivados de algas marinas son obtenidos con base a este último proceso, ya que las hormonas presentes en las algas no se ven afectadas ni por altas temperaturas ni por el uso de reactivos químicos agresivos, ya que las hormonas que contienen las algas pueden ser dañadas a temperaturas mayores de 40 °C (Sen, 1987).

Tanto las harinas como los extractos líquidos son hechos a partir de la misma clase de algas, razón por la cual tienen cualidades en común; por ejemplo, ambas formas proveen cantidades importantes cuando menos trazas de muchos elementos minerales. Desde los años sesenta del siglo pasado, el uso de concentrados de algas como fertilizantes foliares, o en el tratamiento de semillas para acelerar su germinación, o como tratamiento de las raíces de las plantas por inmersión, se ha incrementado mucho más rápidamente que el uso de las

harinas de algas aplicadas al suelo, lo cual se puede atribuir a que la eficiencia biológica de sus componentes es mayor, ya que estos están más disponibles cuando son aplicados directamente sobre las hojas del cultivo, que cuando son incorporados al suelo, como es el caso de las harinas (Canales, 1997; Vivanco, 2013).

Efectos producidos por las algas en las plantas.

Son muchas y diferentes las respuestas de las plantas al tratamiento con algas. Estas incluyen: incremento en la toma de nutrientes, cambios en la composición de sus tejidos, mayor resistencia tanto a las heladas como a las sequías y a la salinidad (Bula, 2004), sin embargo, el mecanismo molecular que subyacen a esta mejora de tolerancia al estrés y la naturaleza de los compuestos bioactivos presentes en los extractos de algas se desconocen (Cardon *et al.*, 2008). Las algas marinas también proporciona a las plantas tolerancia a enfermedades fúngicas y al ataque de los insectos (Bula, 2004), ya que estos depredadores atacan principalmente a las plantas más débiles; todo esto conlleva a obtener altos rendimientos y mejor calidad en los productos de las cosechas; (Senn, 1987; Cox *et al.*, 2010) y obviamente, a un mejor balance económico para el agricultor. Lehnhardt *et al.*, (2013), mencionan que las macroalgas contienen compuestos sulfatados con diferentes propiedades químicas que pueden controlar organismos patógenos. Además, el uso de las algas prolonga la vida de anaquel de los frutos, mejora la germinación de las semillas, incrementa la clorofila y tamaño de hojas (Senn, 1987; Cook, 1983; Metting *et al.*, 1990), esto es debido a la acción de las hormonas y vitaminas incluidas en las algas. Se supone que estos numerosos beneficios que aportan las algas, se derivan de las propiedades que tienen algunos de sus componentes para provocar la hidrólisis de ciertos compuestos incluidos en la savia de las plantas, así como al mejoramiento en la absorción de los

elementos mayores y menores por aquellas; o bien, por la presencia de las hormonas, especialmente las citoquininas incluidas en las algas (Blunden, 1977; Wattal *et al.*, 2007).

Las hormonas tienen la función de enviar señales y de estimular una respuesta; no la de nutrir a la planta; las hormonas envían las señales y son los componentes de las plantas hojas, tallos, raíces, los que, como respuesta, incorporan los nutrientes requeridos de acuerdo a la fase de desarrollo de aquella. Las señales enviadas por las fitohormonas están asociadas a las condiciones del entorno tales como: disponibilidad de agua y nutrientes, de tal manera que, estas señales pueden favorecer o inhibir el ingreso a la planta de determinados nutrientes. Gracias a las señales enviadas por estas fitohormonas, la planta “reacciona” a estas ejecutando una acción. Para actuar, se requiere que existan todas las condiciones adecuadas. En la etapa de crecimiento por ejemplo, se requerirá la presencia de nitrógeno, fósforo, potasio y los micronutrientes. Estos requerimientos serán diferentes en la floración, y así sucesivamente, según la etapa fenológica que corresponda (Bently - Mowar y Reid, 1968; Hussain y Boney, 1969; Jennings, 1969; Augier, 1974).

Los cuatro reguladores de crecimiento o fito-hormonas son de origen natural: y se conocen con los nombres de auxinas, giberelinas, citoquininas y betaínas, mismas que juegan un papel muy importante en la división y la elongación celulares, así como en la síntesis de proteínas, carbohidratos y clorofila. Además, estos reguladores de crecimiento permiten la resistencia de las plantas al estrés, las plagas y las enfermedades a través de la activación del sistema inmune (Mowat, 1964; Kiuomars *et al.*, 2012).

Entre los polisacáridos presentes en los extractos de algas, se encuentran los ácidos algínicos, la carragenina y el manitol, la laminarina, etc, los cuales pueden actuar en el suelo como agentes quelantes o secuestrantes de metales tóxicos o indeseables. Estos

mismos polisacáridos, ya ingresados en la planta solubilizan compuestos precipitados presentes en la savia, haciéndolos disponibles para el metabolismo de la planta (Cruch y Standen, 1992).

Un aspecto importante se refiere al hecho de que la aplicación de algas en su forma de harinas o de extractos foliares, a las plantas, ha demostrado un incremento en el contenido de clorofila, lo cual propicia una mayor actividad en el proceso de la fotosíntesis, y esto permite un incremento de la biomasa fresca y del área foliar (Featonby y Staden, 1984).

Por otra parte, uno de los efectos más pronunciados como resultado de la aplicación de extractos de algas a las plantas, es que estos motivan el desarrollo de un vigoroso sistema radicular, lo cual, aunado a sus propiedades higroscópicas, lo que se deduce la mayor resistencia a la sequía y además de la producción de Dimetil sulfoniopropionato (DMSP), sustancia química que protege a las plantas de la salinidad y la congelación, todo esto se traduce en altos rendimientos en la cosecha (Blunden y Wildgoose, 1977).

La respuesta de las plantas al tratamiento con preparados de algas, varía considerablemente de acuerdo al método de aplicación, al tiempo en que esta tiene lugar y a la frecuencia y la concentración de los tratamientos. De esto se desprende que estos factores deben tomarse en consideración cuando se haga uso de estos productos. Afortunadamente, la experiencia de los fabricantes de estos concentrados y harinas de algas, permiten al agricultor el conocer de forma confiable los tiempos y las concentraciones adecuadas para obtener los mejores resultados. La aplicación en la horticultura de productos conteniendo algas se está haciendo de uso común, debido a los resultados tan positivos que los productores de hortalizas han observado en la práctica (Canales, 1997); sin embargo,

siempre habrá inquietudes ya que toda la información relativa a estos productos apenas está empezando a llegar a manos de los productores interesados. Estos mismos agricultores requieren de pruebas específicas en sus propios terrenos y con sus cultivos, ya que tienden a desconfiar de los resultados obtenidos en otros lugares (Ólafsson *et al.*, 1999).

Las algas y la materia orgánica.

Por siglos, en las regiones costeras de algunos países, las algas de mar han sido incorporadas al suelo en fresco como materia orgánica para fertilizar los suelos de esas regiones. Es el caso de China, Japón, Noruega y la Bretaña Francesa, por mencionar algunos (Bula, 2004).

En este trabajo, también se tratará de explicar acerca de la generación indirecta de materia orgánica al incorporar harinas de algas al suelo o al fertilizar las plantas en forma foliar y al aplicar una micorriza a las semillas de un cultivo; debido a que, al aumentar el tamaño de las plantas y por consecuencia, de las raíces, estas secretan una mayor cantidad de detritos orgánicos y a una mayor profundidad. Además, este incremento en la materia orgánica permite una mayor proliferación de microorganismos útiles; y al mismo tiempo, permite el optimizar la textura del suelo (Bula, 2004; Zancan *et al.*, 2006; Vivanco, 2013), así como un mejor aprovechamiento del agua de riego. Todos estos factores inciden para corregir el pH del suelo; y al reducir la cantidad de fertilizantes inorgánicos requeridos, se minimiza la cantidad de sales tóxicas incluidas en estos. Todos estos cambios favorecen el desarrollo de la macrofauna del suelo: ácaros, insectos y lombrices lo que indirectamente contribuye al aumento en el contenido de materia orgánica; y por otro lado, estos cambios favorecen la disponibilidad de los fertilizantes inorgánicos presentes en forma no disponible en el sustrato (Levin *et al.*, 1991; Ólafson *et al.*, 1999).

Otro punto importante, es el hecho de que estos extractos y las harinas de algas, contienen en forma natural diversas enzimas, mismas que aceleran las reacciones de óxido-reducción en los suelos, las cuales permiten que muchas sustancias de origen inorgánico se transformen en compuestos orgánicos útiles para el desarrollo de las plantas (Brain *et al.*, 1973; Blunden, 1977).

Estas reacciones son las que permiten iniciar la cadena de transformaciones que darán fertilidad a los suelos, ya que también con el concurso de los microorganismos estos alcoholes serán transformados en aldehídos, cetonas, aminas, amidas, etc, hasta desembocar en los ácidos orgánicos. Otros microorganismos incorporan el nitrógeno del aire y lo convierten en amoníaco, con lo que se facilita la producción de aminoácidos, lípidos, proteínas, etc, sustancias todas estas que ingresan a la planta en forma directa como nutrientes esenciales. Todas estas reacciones son aceleradas por la presencia de las enzimas presentes en los extractos de algas, ya que estas actúan como catalizadores que aceleran los procesos que tienen lugar en las superficies donde se establecen los cultivos. La adición de materia orgánica al suelo como es el caso de las harinas mencionadas, también acelera este proceso (Canales, 1997; Vivanco, 2013).

Extracto de algas en la aplicación foliar.

Las algas contienen todos los elementos mayores (N, P, K, Mg, Ca y S) y casi todos los elementos menores (Fe, Mn, Cu, Zn, Si, Mo, Cl, V, Co, Na, Se, B, Cr, entre otros) (Canales, 1997; Meyer *et al.*, 2010). Las formulaciones sintéticas de fertilizantes foliares, por lo general contienen también todos los elementos mayores, no así la totalidad de los elementos menores; esto viene a limitar la disponibilidad de los elementos mayores de acuerdo a la ley del mínimo. Pero además, los extractos de algas contienen una mayor

diversidad de elementos útiles a las plantas, como son los ácidos alginicos y otros polisacáridos (Demirvas, 2009), las cuales hidrolizan compuestos presentes en las plantas en forma insoluble, haciéndolos disponibles para la nutrición de la misma. Tal es el caso del oxalato de calcio, el cual, mediante dicha hidrólisis se transforma en oxalato ácido; o bien en hidróxido de calcio, compuestos que son parcialmente solubles, y esta hidrólisis permite hacer disponible al ión calcio (Grossart *et al.*, 2006).

Un grupo de enzimas incluido en las algas, es el encargado de la transferencia de electrones de un donador por lo general, el oxígeno hacia un receptor, lo cual es de capital importancia para la respiración aerobia de las células. Bajo ciertas condiciones y dosis, tanto en las hojas como en las semillas, las enzimas aceleran el proceso de la respiración, incrementando así el proceso metabólico en las plantas. Esto conlleva a la síntesis de los compuestos vitales necesarios para acelerar el proceso de germinación, así como del propio crecimiento de las plantas. Esta suma de efectos permitirá una precocidad muy deseable en el desarrollo de los cultivos (Canales, 1997).

Por todo lo expuesto, el contenido de las algas engloba una composición ideal formulada por la naturaleza, mejor que cualquiera de las formulaciones hechas por el hombre, tanto en el contenido de compuestos requeridos por la planta, como en la relación equilibrada de estos que aquellas requieren (Ólafsson *et al.*, 1999). En los extractos de algas por ejemplo, están presentes iones solubles, y la gran mayoría de ellos representan nutrimentos que no requieren de ser procesados por las plantas, sino que entran directamente al flujo vital de la savia. Las aplicaciones al suelo de las harinas de algas y de los extractos de estas sobre las hojas, se complementan. Una sabia combinación de harinas de algas, materia orgánica y fertilizante foliar optimiza su acción, de tal manera que, con el

paso del tiempo, podría prescindirse del uso de los fertilizantes inorgánicos en un alto porcentaje. En este punto, es conveniente hacer notar que los productos del campo cultivados en forma orgánica, aumentan su valor comercial llegando hasta duplicar el valor de los mismos (Canales, 1997, Vivanco, 2013).

Para lograr una respuesta óptima, la aplicación foliar debe darse cuando hay humedad en el exterior de las hojas (rocío por ejemplo, o después de un riego por aspersión), o en los periodos durante los cuales la planta sufre estrés por falta de riegos oportunos; o bien, por un estrés fisiológico. Este último se presenta al cambiar la planta de su estado vegetativo a su estado reproductivo; o sea, cuando la flor está en botón y a la caída de los pétalos. Aplicaciones foliares en estos periodos, no solo ayudan al desarrollo de las plantas y del fruto, sino que también, estimulan el crecimiento de la raíz, posibilitando una mejor extracción de nutrientes y de agua del suelo; para esto, es indispensable mantener buena humedad en el sustrato y practicar apropiadas labores culturales (Canales, 1997).

Los biofertilizantes y los micronutrientes.

Los fertilizantes inorgánicos tradicionales proveen a las plantas de una carga nutricional basada prácticamente en tres elementos, y olvidan un sin número de elementos como el Carbono, el Calcio, el Magnesio y los micronutrientes, metálicos o no, y cuya influencia en la vida de los seres humanos no puede ser soslayada (González y Pomares, 2008). Quizá se da por sentado que la presencia de estos minerales es segura en los suelos, ya que las cantidades requeridas por las plantas son muy pequeñas.

Además son muy pocos los agricultores que se preocupan por investigar el estado de sus tierras en relación a las cantidades requeridas para ellas. Después de más de sesenta años de agricultura intensiva basada en los fertilizantes inorgánicos, es muy probable que

más de alguno de estos micro-nutrientes evidencie una carencia en las cantidades mínimas que los suelos deben tener en relación a estos elementos (Vivanco, 2013).

En el mejor de los casos, estos fertilizantes inorgánicos derivados del petróleo en su mayoría, proveen una carga nutricional suficiente para una sola temporada; y para el caso de que las tierras permitan dos o más cultivos adicionales, se requiere de una mayor cantidad de fertilizantes. Además cada año se hace necesario adicionar mayores cantidades de inorgánicos para obtener la misma cantidad de cosecha, lo que viene a mermar las utilidades del agricultor en forma progresiva (González y Pomares, 2008).

Pero el principal problema estriba en que, la adición a los suelos de estos fertilizantes inorgánicos, provoca en aquellos un desbalance en la calidad y la cantidad de los microorganismos presentes; los cuales, en última instancia, son los responsables de la germinación, el desarrollo y la maduración de las plantas (Rueda *et al.*, 2009).

Este tipo de fertilización inorgánica genera un rompimiento en la cadena alimentaria de la micro flora y la micro fauna, lo que viene a empobrecer gradualmente la capacidad de las tierras para sustentar la vida vegetal, así como la de otros macroorganismos (ácaros, arácnidos y nematodos), organismos todos de los cuales depende la verdadera fertilidad de los suelos (Jazme y Rodríguez, 2008; Caballero *et al.*, 2009; Rueda *et al.*, 2009).

Ya sea en su forma de harinas o en la de extractos líquidos, las algas y los hongos micorrizicos proporcionan a las plantas a la mayoría de estos oligoelementos en forma balanceada. Estas incluyen una serie de metales como Boro, Hierro, Cobre, Zinc, Molibdeno, Manganeso, Vanadio, Selenio, cromo, níquel, Cobalto y Sodio; y algunos no metales como el Cloro, Yodo y Flúor (Canales, 1997). Se ha demostrado que los hongos proporcionan a las plantas además de NH_3 y P, SO_4 , Cu, Fe y Zn principalmente (Meyer *et*

al., 2010). A cambio los hongos reciben entre el 1 y 25% de fotoasimilados de la planta, principalmente carbohidratos (Staddon *et al.*, 2003).

De todos los micro elementos mencionados, los de origen metálico son los de mayor importancia, ya que actúan como catalizadores de un sin número de reacciones de oxidación y reducción en los suelos, así como en la elaboración de sustancias útiles en la vida y el desarrollo de las plantas, de los animales y de los seres humanos que las consumen (Canales, 1997).

Las enzimas metálicas están presentes en casi todos los procesos de la vida. Éstas regulan los procesos de respiración, circulación, reproducción y digestión de plantas y animales, y en el hombre regulan hasta las funciones del pensamiento mismo. La ausencia de alguno de estos microelementos, es causa de enfermedades en plantas y animales, al igual que su exceso. La carencia en las cantidades adecuadas de alguno de ellos, ocasiona deficiencias y limitaciones en la vida y el desarrollo de las plantas pero también en la de los animales y los humanos que las consumen, sin mencionar que estas carencias afectan igualmente a las poblaciones microbiológicas (Vivanco, 2013).

Los microelementos no sólo promueven o catalizan reacciones del suelo, permitiendo con ello su humificación o mineralización; además, son partes integrantes de la planta como lo es el magnesio en la clorofila. Estos microelementos también ayudan en la descomposición y mineralización de la materia orgánica muerta. Las enzimas metálicas ayudan a fraccionar las moléculas orgánicas complejas, y también intervienen en la transformación de los minerales en compuestos orgánicos. Con ello, los metales en cuestión intervienen en los cambios de textura y de fertilidad de los suelos y hasta en los cambios en la composición de la atmósfera que nos rodea (Stephenson, 1968; Canales, 1997; Rueda *et*

al., 2009). Por lo general, los fertilizantes inorgánicos no aportan ninguno de los microelementos mencionados.

Las algas y los microorganismos.

La biodegradación de la materia orgánica presente en los suelos y en las algas marinas, depende, de manera prevalente, de la comunidad microbiana existente (Grossart *et al.*, 2006; Van-der Heijden *et al.*, 2008; Rueda *et al.*, 2009). Para que los elementos químicos minerales y la materia orgánica lleguen a convertirse en alimento para las plantas, se requiere que los suelos dispongan de una biomasa activa, la cual está constituida por una nutrida variedad de micro y macro organismos, mismos que aprovechan las actividades de simbiosis y de colaboración entre ellos para activar a la biomasa, y con ello aceleran el proceso de humificación y mineralización de los compuestos químicos incluidos en el suelo (Flores *et al.*, 2005; González y Pomares, 2008; Caballero *et al.*, 2009).

Esta actividad microbiana puede ser biocatalizada con el uso de enzimas, las cuales provocan y aceleran la descomposición de ciertas sustancias, mismas que, ya desintegradas, pueden ser aprovechadas por los microorganismos de la flora y de la fauna presentes en los suelos, incluyendo a los aerobios, a los anaerobios y a los facultativos. Estas enzimas provocan una alta velocidad de reproducción al incrementar la disponibilidad de alimentos presentes en los suelos (Wattal *et al.*, 2007). La biodegradación de compuestos orgánicos complejos como la celulosa y la lignina, presentes siempre en los residuos vegetales, son los más difíciles de degradar a través de las especies bacterianas, ya que dicha biodegradación es óptima a temperaturas de 50-55 °C. Las enzimas también degradan a las grasas, las proteínas, las amidas, los carbohidratos y a otros ácidos nitrogenados presentes en el sustrato, tal es el caso de los ácidos húmicos y los fúlvicos (Vivanco, 2013).

Los microorganismos que viven asociados a las algas y a los biofertilizantes en general, se propagan fácilmente cuando estas se aplican a los suelos y de esta manera aumentan las sustancias y elementos que contienen tanto las algas como los microorganismos potenciando su acción (Canales, 1997; Kaushik y Prasana, 1998; Wattal *et al.*, 2007). Algunas especies de algas pueden tomar nitrógeno molecular, al igual que ocurre con las bacterias fijadoras de nitrógeno, cuando estas mueren originan materia orgánica formando una capa de nutrientes sobre las que se fijan bacterias y hongos (Ólafson *et al.*, 1999; Cook *et al.*, 2000).

Las algas cianófitas, que las harinas y otros derivados de algas marinas conllevan, ya sea que se apliquen en forma foliar o al suelo, fijan el Nitrógeno del aire aún en las no leguminosas (Canales, 1997). En general, los biofertilizantes son productos que contienen microorganismos que cuando son inoculados en las semillas de los cultivos pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas, ayudando a las mismas a su mejor nutrición y protección contra el ataque de organismos patógenos y también a enfrentar situación de estrés, además de ser regeneradores de la fertilidad de los suelos (Mayer *et al.*, 2011; Bakker *et al.*, 2012; Lehnhardt *et al.*, 2013). A el efecto de la presencia de las raíces en la zona donde proliferan los microorganismos, se le conoce como efecto rizosférico, se debe al suministro de exudados radicales que contienen azúcares, aminoácidos, vitaminas, enzimas, así como otros componentes (mucilagos, detritus, lisados, secreciones entre otros) (Rovira, 1973; Wattal *et al.*, 2007; Caballero *et al.*, 2009; Bakker *et al.*, 2012). El suelo que se encuentra alrededor de las raíces se caracteriza por presentar una alta concentración de nutrientes, en comparación con el resto de este, como respuesta a aportación de los nutrientes liberados por las raíces de las plantas (Rovira, 1973; Bakker *et al.*, 2012;

Vivanco, 2013). En esta zona, se genera un ambiente propicio para el desarrollo de una gran diversidad de microorganismos que pueden promover el crecimiento de los cultivos a través del incremento de la superficie de absorción de las raíces, facilitando la disponibilidad de los nutrientes y explorando superficies más profundas, mejorando con ello la absorción de agua, y de esta manera, enfrentando los efectos negativos de la sequía y la salinidad (Caballero *et al.*, 2009; Meyer *et al.*, 2010). Por su parte, la planta proporciona a los microorganismos simbiotes productos tales como azúcares, aminoácidos, flavonoides, proteínas y ácidos grasos, derivados de la fotosíntesis y un nicho ecológico protegido, lo que favorece la productividad de los cultivos (Díaz-Zorita *et al.*, 2005; Jazme y Rodríguez, 2008; Meyer *et al.*, 2010; Bakker *et al.*, 2012).

Los principales tipos de organismos que se pueden encontrar en la mencionada zona rizosférica, son los hongos formadores de micorrizas arbusculares, las bacterias fijadoras de nitrógeno y las rizobacterias promotoras del crecimiento, estos microorganismos son claves para garantizar la sostenibilidad del sistema suelo-planta (Jazme y Rodríguez, 2008; Meyer *et al.*, 2010; Vivanco, 2013).

El éxito en la elaboración de los diferentes tipos de biofertilizantes o bioinoculantes (bacterias y hongos, solos o combinados), dependerá de los cuidados que se tengan durante su elaboración ya que existen procesos que requieren del uso de químicos agresivos y elevadas temperaturas con lo que se disminuyen las poblaciones microbiológicas; en cambio existen otros procesos con los cuales se mantiene intacta dicha población de la flora microbiana (Canales, 1997; Vivanco, 2013).

Análisis foliares.

Los análisis foliares se muestran como una técnica muy adecuada para medir los efectos de la fertilización basada en las harinas y los extractos de algas, ya que estos análisis nos revelan la composición mineral de las hojas, la cual refleja las condiciones generales de salud de las plantas, permitiendo así establecer un diagnóstico del estado de fortaleza de aquellas, y de los efectos logrados con dicho método de fertilización. Esta técnica ha sido estudiada en el transcurso de los últimos años con mucho detalle, logrando constantes progresos en su evaluación y llegando a ser un procedimiento normal para medir la eficiencia de este tipo de fertilizantes, hasta llegar a generar una normativa que permita definir las dosis adecuadas y el momento oportuno de las aplicaciones para los diferentes cultivos y las regiones en donde estos se aplican (Canales, 1997; Vivanco, 2013).

Cuando la fertilización se hace sólo mediante agregados orgánicos o inorgánicos, aplicados directamente en el suelo, todos los elementos nutritivos absorbidos por las plantas estuvieron en el suelo en una forma asimilable por la planta. De esta manera, puede considerarse que la planta es la que toma una muestra de suelo, integrando todos los factores que afectan el sistema suelo-planta (Junta de Extremadura, 1992).

Fuentes de nitrógeno en la nutrición del trigo.

Tanto el Carbono como el Nitrógeno son elementos que están presentes en los gases de la atmósfera; ahí, el Carbono se presenta en su forma de Bióxido de Carbono en un porcentaje de 0.03%, y el Nitrógeno representa un total del 71% de esos gases (Melendez y Soto, 2003). Las tormentas eléctricas disocian pequeñas cantidades de Nitrógeno y lo combinan con el Oxígeno del aire para formar los iones amonio, los cuales llegan al suelo disueltos en el agua de lluvia. Esta es la razón por la cual el agua de lluvia hace reaccionar a

las plantas más positivamente que el agua de riego, ya que aquella contiene, disuelto en el agua, un fertilizante natural, se estima que el agua de la lluvia proporciona 5 a 15 t/ha/año. Por otra parte, y aunque el carbono constituye casi el 50% del total del peso seco de toda la materia vegetal, es el nitrógeno el elemento que permite la integración del carbono al tejido vegetal a través de la fotosíntesis (CICEANA, 2013).

Ninguno de los nutrientes principales de las plantas iguala o supera la importancia que tiene el Nitrógeno en el comportamiento fisiológico de las mismas (Hirose, 2012). De forma semejante al Carbono, el Nitrógeno es un componente del cuerpo vegetal. El Carbono sirve para construir el esqueleto celulósico y los compuestos glucosídicos como los azúcares y los polisacáridos, donde no interviene el nitrógeno. El Carbono junto con el Nitrógeno, se presentan en casi todos los constituyentes de las plantas. Por otra parte, el Nitrógeno es necesario, en primer lugar, como constituyente del cuerpo proteico, el cual incluye a los aminoácidos, las proteínas, los lípidos, los péptidos, las aminas, las amidas, y todos los derivados del nitrógeno que permiten el crecimiento y la reproducción de las plantas (Pereyra, 2001).

El Nitrógeno se encuentra en los suelos como componente de la materia orgánica, la cual incluye a los residuos de plantas, las heces animales y los cadáveres en descomposición de las diversas formas de vida animal que habitan en los suelos. Todas estas formas de compuestos nitrogenados básicos, se concentran para formar los ácidos fúlvicos y los húmicos, mismos que sirven de reservas alimenticias para las plantas (Melendez y Soto, 2003). Este proceso es conocido con el nombre de humificación, mientras que el proceso inverso, es decir, la descomposición de los ácidos húmicos y fúlvicos, así como la desintegración de moléculas orgánicas complejas hasta terminar en

moléculas o elementos inorgánicos, se conoce con el nombre de mineralización de los suelos. Ambos procesos se entrelazan para formar los compuestos orgánicos requeridos por las plantas para su alimentación y desarrollo. En estos procesos de humificación y mineralización, son los microorganismos los responsables de casi todos los cambios químicos que tienen lugar en los suelos (Rueda *et al.*, 2009).

En la Figura 1, se muestra el modelo de la estructura básicas que conforman a los ácidos húmicos y a los fúlvicos (Stevenson, 1994), los cuales se diferencian primeramente por su color (los húmicos tienen una coloración casi negra, y los fúlvicos son amarillentos.

Estos también se distinguen por la solubilidad que presentan ante medios ácidos o alcalinos; los húmicos son solubles en medios ácidos y los fúlvicos se solubilizan en medios alcalinos (Melendez y Soto, 2003). De hecho, ambos ácidos son polímeros muy complejos que están formados por un número indeterminado de unidades básicas como benceno, naftaleno, antraceno, pirrol, indol, piridina, etc, y estas a su vez, están constituidas por multitud de compuestos orgánicos básicos como son: R-COOH, R-OH, CH₃-CH=O, y otros muchos, por lo que no es posible definir a estos ácidos en forma precisa y puntual.

Así pues, estos ácidos son polímeros de muy alto peso molecular, y engloban sustancias útiles para las plantas, tales como azúcares, aminoácidos, peptinas, proteínas y otros muchos compuestos útiles a las plantas (Melendez y Soto, 2003). De estos ácidos, los micro-organismos “descuelgan” a los diversos compuestos que los conforman, permitiendo que esas fracciones penetren a las plantas directamente como nutrientes esenciales de estas. El Nitrógeno también está presente en los suelos en forma de Nitritos y Nitratos, ya sean éstos orgánicos o inorgánicos, pero es en su forma orgánica a través de la cual el Nitrógeno penetra a la planta por sus raíces (Honghui *et al.*, 2011).

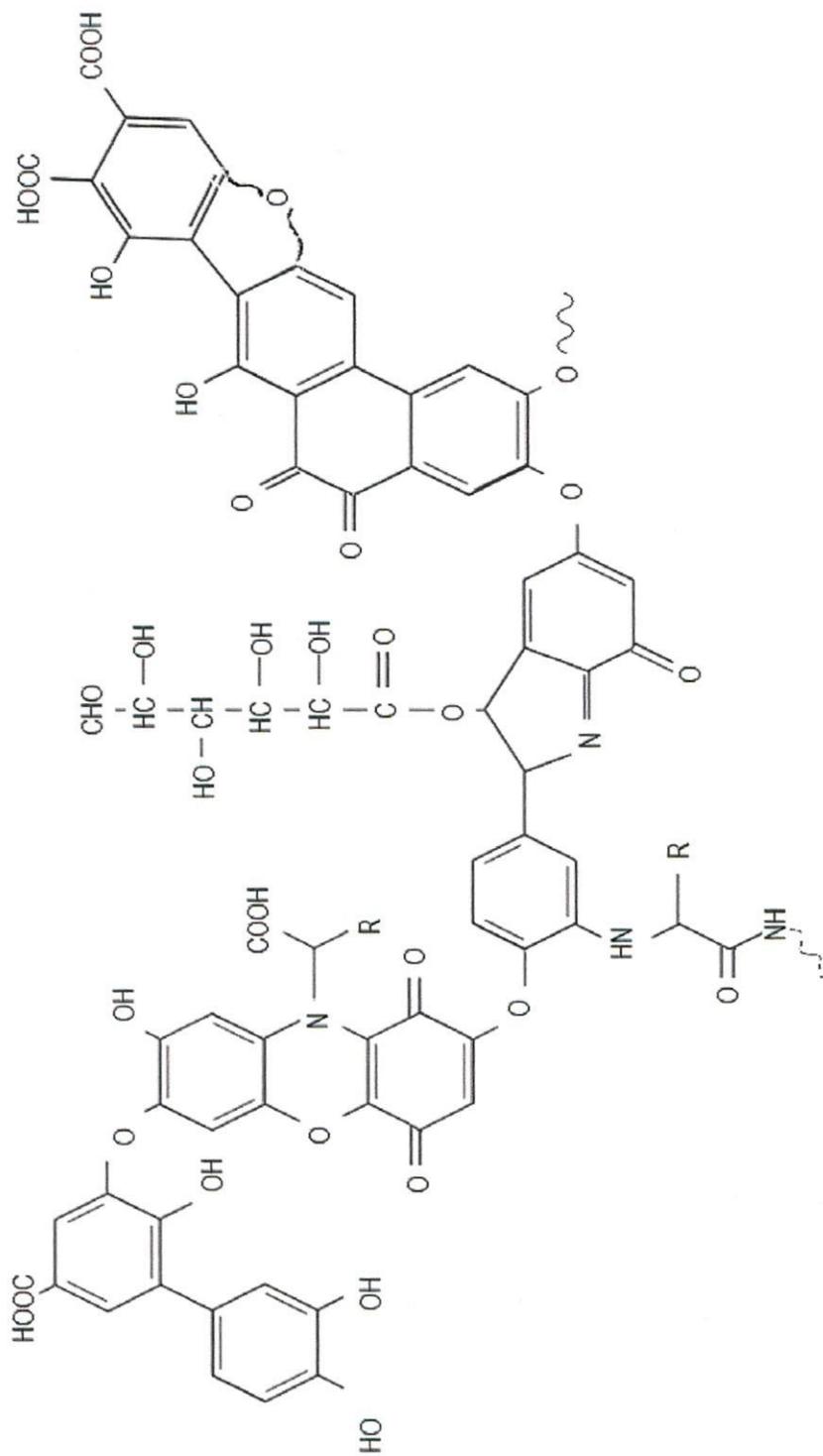


Figura 1. Estructura química básica de los ácidos húmicos y los fúlvicos, propuesta por Stevenson, 1994.

La vida en este planeta Tierra, se mantiene fundamentalmente gracias a la fotosíntesis que realizan las algas en el medio acuático, y las plantas en el medio terrestre, ya que estas formas de vida, tienen la capacidad de sintetizar materia orgánica a partir del CO₂ de la atmósfera y de la energía lumínica, siendo esta materia orgánica imprescindible para la constitución de los seres vivos. De hecho, cada año, los organismos foto-sintetizadores fijan, en forma de materia orgánica, alrededor de 100.000 millones de toneladas de carbono del aire (Grossart *et al.*, 2006).

El aire tiene más de un 79% de nitrógeno, siendo, pues, una cantidad prácticamente ilimitada, pero las plantas superiores no tienen sistemas aceptores que les permitan ingresar este nitrógeno, lo que limita mucho su disponibilidad; sobre todo porque no hay rocas nitrogenadas; sino que, el origen de este elemento en los suelos es la materia orgánica que se desintegra in situ, excepto por una pequeña fracción que se fija en las tormentas eléctricas (Pereyra, 2001).

La cantidad de Nitrógeno en el suelo varía de 0.02 a 0.04% del peso total; si se calcula que una hectárea de suelo a 30 cm de profundidad pesa 3,000 toneladas, el peso del Nitrógeno en esa superficie, sería de 600 a 1200 kg, y suponiendo que las necesidades de la población vegetal sean de 100 kg/ha/año, éste se agotaría en un período 6 a 12 años, de no ser por las aportaciones que hacen los micro-organismos convirtiendo el Nitrógeno atmosférico en amoníaco y de este a los nitritos y nitratos. La otra fuente de Nitrógeno son las heces fecales y los cadáveres de la macro fauna, pero estas aportaciones con sus procesos de mineralización y humificación no son suficientes para sostener los cultivos extensivos del trigo, por lo que se requiere de la fertilización externa, la cual puede ser orgánica o inorgánica (Gioseffi *et al.*, 2012). Esta última no es sostenible y sólo la adición

de compostas, micorrizas o de harinas y extractos de algas puede hacer de la agricultura un proceso sostenible. Gioseffi *et al.*, (2012), concluyeron que el Nitrógeno orgánico puede constituir una fuente importante de este elemento para el cultivo de trigo y mencionan también que existe una interacción entre el nitrógeno orgánico y la captación del Nitrógeno inorgánico. Además, afirmaron que los diferentes sistemas de descomposición de las fuentes de Nitrógeno orgánico por ejemplo a partir de heces y la integración de los vegetales a los suelos, pueden ser una fuente importante de aminoácidos y estos a su vez de Nitrógeno disponible para las plantas.

El Nitrógeno se encuentra en el suelo de dos formas asimilables por las plantas: Nitrógeno nítrico (NO_3), y el Nitrógeno amoniacal (NH_3). La absorción del Nitrógeno nítrico es más benéfica a la planta y conduce a rendimientos altos. Una alta concentración de amoniaco en el suelo puede ser tóxica por el aumento de pH que se genera en el tejido celular; además, un exceso de amoniaco en los suelos inhibe la captura del Nitrógeno atmosférico por parte de las bacterias amonizantes; igualmente, este exceso de amoniaco en los suelos inhibe la descomposición de los ácidos húmicos y fúlvicos (Pereyra, 2001). El Nitrógeno amoniacal tiene carga positiva y por esta razón es retenido con bastante fuerza por las partículas coloidales incluidas en las arcillas del suelo, las cuales están cargadas negativamente. De los compuestos inorgánicos que se utilizan para fertilizar el suelo, tanto el amoniaco anhidro como la urea, forman con rapidez iones de amonio al reaccionar en el suelo y son retenidos in situ. Sin embargo, todas las fuentes de Nitrógeno tarde o temprano, en condiciones favorables de temperatura, humedad y aireación, cambian a formas de Nitrógeno nítrico, que son fácilmente solubilizadas en el agua. En consecuencia las pérdidas de Nitrógeno por lixiviación en la zona de las raíces del cultivo es una posibilidad

que siempre está presente, en particular en suelos de textura ligera, esto es, pobres en arcillas, o durante la temporada de lluvias, lo cual permite la lixiviación de los compuestos amoniacales hacia estratos más profundos y lejos de las raíces de las plantas.

Raun y Johnson (1999), establecieron que la eficiencia de uso de nitrógeno en trigo se estima actualmente en 33%; sin embargo, en estudios realizados en México por Ortiz-Monasterio (2009), indican que la eficiencia en el uso de Nitrógeno en el cultivo de trigo en el sur de Sonora es 31%; es decir, 69% restante no es absorbido por el cultivo. De cualquier manera ambas cifras son bastante inferiores al 50% que se encontraba normalmente en la literatura.

Curiosamente, mucho de este desperdicio de compuestos nitrogenados terminan en los lagos, ríos, y finalmente en los océanos; y es aquí donde las algas marinas se benefician de estos nutrimentos para crecer en forma espectacular (en el orden de metros por día). Para la asimilación del nitrógeno por parte de la planta de trigo, se requiere de la participación de una enzima, la nitrato reductasa presente en las algas; o bien, elaborada por ciertos micro-organismos presentes en el suelo. La planta de trigo necesita Nitrógeno en cantidades muy altas, ya que cerca del 20% del peso de la proteína en el grano está constituido por este elemento, y este es el compuesto esencial del coloide protoplasmático (Miller y Smith, 1996). La actividad de enzimas involucradas en el metabolismo del Nitrógeno la actividad de la nitrato reductasa se relaciona con la eficiencia de absorción. Actualmente se están analizando e identificando diversas variedades de trigo con respecto a la actividad de esta enzima, y se ha encontrado que todas las líneas experimentales de alta proteína identificadas hasta ahora, son producto de la actividad de esta enzima. Los niveles de proteasa de la hoja también se consideran importantes y se están estudiando para identificar

variedades capaces de traslocar mayor cantidad de Nitrógeno amino al grano para la síntesis de proteína (Pereyra, 2001). El Nitrógeno entra en la composición de las nucleoproteínas de las células, por lo que se encuentra abundantemente en los tejidos jóvenes. Es, por tanto, el factor determinante del crecimiento de los órganos vegetativos, siendo éstos los que se ven beneficiados en su composición por la aportación de nitrógeno. Así pues, el Nitrógeno es necesario para mantener un follaje verde. En el trigo, la cantidad de Nitrógeno disponible influye en la cantidad de proteínas contenidas en el grano. El trigo requiere una mayor cantidad de Nitrógeno durante el periodo de encañe (Scheible *et al.*, 2004).

Contenido de proteínas en trigo.

La calidad industrial del trigo generalmente se evalúa sobre la base de diferentes características fisicoquímicas, propiedades bioquímicas y reológicas o de procesamiento (Khan *et al.*, 2012), los productos elaborados a partir de granos de trigo requieren de diferentes características de calidad. Sin embargo, la capacidad de las harinas o sémolas para transformarse en diferentes productos alimenticios depende de la cantidad y calidad de las proteínas que conforman el gluten (Weegels *et al.*, 1996).

El contenido total de proteína en grano, varía desde un 8 a un 20 % del peso total del grano. De este porcentaje, un 78 al 85 % corresponde a las proteínas que forman parte del gluten (Peña *et al.*, 2002). Los principales constituyentes del gluten son las fracciones de proteínas gliadinas y gluteninas, las cuales están determinadas principalmente por su composición de subunidades de α , β , γ y ω -gliadinas, gluteninas de alto peso molecular (G-APM) y gluteninas de bajo peso molecular (G-BPM) (Weegels *et al.*, 1996; Vallejos y Álvarez, 2001). Estas proteínas funcionales del trigo; llamadas así, porque son las responsables de dar a las harinas (procedentes de los trigos harineros o blandos) o a las

sémolas (resultado de la molienda de los trigos duros o cristalinos) las propiedades viscoelásticas requeridas en los procesos de industrialización del grano de trigo. Estas propiedades que aportan las proteínas funcionales mencionadas, son las responsables de dar a la masa, la fuerza para retener el gas (CO₂) producido en los procesos de fermentación durante la panificación, así como la resistencia durante la cocción de las pastas; y con ello, mejorando la firmeza del producto ya cocido (Hoseney, 1991). Las gluteninas son una clase heterogénea de proteínas, insolubles con diversos disolventes, solo pueden ser completamente solubilizadas por extracción con una solución de dodesil sulfato de sodio combinado con un agente reductor o por tratamiento con ultrasonido. Esta fracción insoluble generalmente se correlaciona positivamente con las propiedades reológicas de las masas y por la calidad de panificación (Martinez *et al.*, 2010). Sin embargo el efecto individual de las gliadinas y G-BPM se desconoce por lo que la identificación de estos componentes genéticos es necesaria para entender su influencia en la calidad y poder manipularlos en los programas de fitomejoramiento.

El contenido y la calidad de las proteínas del trigo al igual que el rendimiento son dos rasgos muy importantes en el grano de este cereal y, aunque estos son controlados por factores genéticos, también las condiciones ambientales influyen considerablemente sobre su expresión. El contenido de proteína del grano es el rasgo más importante en la evaluación de la calidad y la mejora del cereal, y se ha documentado que está influenciado principalmente por el medio ambiente, la fecha de siembra, la variedad, la cantidad y la etapa de aplicación del nitrógeno a la planta (Hoseney, 1991; Rao *et al.*, 1993;).

La proteína puede ser manipulada hasta ciertos límites por la cantidad de fertilizante aplicado, así como por el momento de la aplicación del mismo. Para el productor es

importante el contenido de proteína porque esta incide en el precio del grano al formar parte del estándar de comercialización, con bonificaciones y descuentos por encima o por debajo de la base de comercialización del 11% (Caputo *et al.*, 2009).

La proteína tiene su origen en el nitrógeno inorgánico presente en el suelo que se transforma luego en nitrógeno orgánico en el grano. Por eso es muy importante realizar la fertilización nitrogenada en el momento de la siembra y en la etapa de encañe temprano, esta etapa se presenta cuando la planta presenta el primer nudo, entre los 38 y 45 días, que regularmente coincide con el primer riego de auxilio, estas son las mejores épocas para obtener buenos rendimientos y proteína a la vez (Ortiz, 2009).

Muchos estudios han demostrado que el aumento de proteína en las harinas resultantes de aplicaciones de Nitrógeno puede conducir a cambios en la composición de proteínas (aplicaciones en prefloración o floración plena no siempre tienen respuesta a proteína, esto depende mucho de las condiciones ambientales donde se establece el cultivo (Miller y Smith, 1996).

Sin embargo, de acuerdo a las recomendaciones del INIFAP, la aplicación de nitrógeno al suelo o en las primeras fases del cultivo (antes de la floración), resultará generalmente en un rendimiento más alto del grano; y la aplicación de Nitrógeno al momento de la floración, o un poco más tarde, producirá generalmente más proteína en el grano. El mejoramiento genético de trigo hacia el alto contenido de proteínas es difícil, debido a la correlación negativa existente entre el rendimiento y el contenido de proteína del grano (Simmonds, 1995).

MATERIAL Y MÉTODOS

Con el fin de ratificar la bondad de la fertilización orgánica utilizando extractos de algas marinas y micorrizas se procedió a la instalación de un experimento que permitiera reducir en un 50 % la fertilización inorgánica utilizada comúnmente por los agricultores del Valle del Yaqui. Para ello, se instalaron nueve diferentes tratamientos: 1. Testigo absoluto, al cual no se le aplicó fertilización alguna, 2. Testigo regional, fertilizado con el 100% de la Fertilización Inorgánica (F.I.), de acuerdo al promedio estadístico según encuestas realizadas por el CIMMYT en el Valle del Yaqui, 3. Aplicación de micorrizas + 50% de F.I., 4. Aplicación Foliar de algas marinas de acuerdo a dosis proporcionadas por el fabricante + 50% de F.I, 5. Aplicación de algas al suelo de acuerdo a dosis proporcionada por el fabricante + 50% F.I, 6. Aplicación de algas al suelo + Foliar + 50% F.I, 7. Tratamientos de algas marinas a la semilla + 50% F.I, 8. Aplicación de bagazo de algas (100 kg) a la semilla + 50% F.I. y 9. Aplicación de bagazo de algas (500 kg) a la semilla + 50% F.I. Estos nueve tratamientos se establecieron con tres repeticiones cada uno de ellos, dando un total de 27 unidades experimentales, las cuales se establecieron bajo un diseño experimental de bloques al azar.

Cada tratamiento constó de 4 surcos, los cuales midieron 80 cm. de ancho y 5 metros de largo. Los dos surcos laterales de cada tratamiento fueron utilizados para muestrear espigas, hojas y medir el contenido de clorofila para no alterar a los 2 surcos centrales, que fueron utilizados para estimar el rendimiento por hectárea del grano. Las muestras de grano recolectado de estos dos surcos centrales sirvieron también para los análisis de calidad industrial, estos estudios se llevaron a cabo en el laboratorio de calidad de granos del Campo Experimental Norman E. Borlaug-INIFAP.

Localización del sitio experimental.

El presente trabajo experimental se realizó en los terrenos del Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB) del INIFAP, ubicado en el block 910 del Valle del Yaqui de Ciudad Obregón Sonora, México, durante el ciclo agrícola 2008-09. Este valle se encuentra situado entre las coordenadas geográficas 26° 45' y 27° 33' de latitud Norte, y los meridianos 109° 30' y 110° 37' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Este valle se encuentra entre dos ríos, el río Yaqui al norte, y el río Mayo hacia el sur, mismos que han contribuido con sus aluviones a atenuar la aridez de los suelos de la región. El valle del Yaqui está situado en la costa norte-oeste de México, y se encuentra a 40 m sobre el nivel del mar (Meisner *et al.*, 1992).

Clima.

De acuerdo a la clasificación climática que reporta el INEGI (2008), la región se caracteriza por su clima seco-cálido con eventuales lluvias en verano; en promedio, la temperatura oscila entre los 22 y los 26 °C y la precipitación pluvial media anual es de 386 milímetros; misma que, se ha reducido en los últimos 60 años en un promedio de 0.4 mm por año, para totalizar una reducción de 24 mm en este periodo. Sin embargo, el clima de invierno en Obregón es ideal para el crecimiento y el desarrollo del trigo por tener un clima más bien seco, una alta radiación solar, noches frescas y moderadas temperaturas diurnas durante la temporada del cultivo. Lo anterior explica el alto potencial de rendimiento de hasta 11 toneladas por hectárea en comparación con los rendimientos medios del trigo en el resto del mundo (Meisner *et al.*, 1992). Las condiciones climáticas que prevalecen en el valle del Yaqui permiten que el 75% de la producción de trigo sea de tipo cristalino, ya que los harineros presentan menor productividad y son más susceptibles a las enfermedades.

Suelo.

El suelo agrícola del Campo Experimental Norman E. Borlaug, perteneciente al INIFAP, se caracteriza por presentar una textura arcillosa con alto grado de compactación; y muy pobre en el contenido de materia orgánica (alrededor del 0.5% aproximadamente). En un estudio realizado por el CIMMYT en el Valle del Yaqui hace aproximadamente 20 años, se caracterizaron los suelos del valle y se tomaron muestras de diversos sitios; y en todos ellos se encontró que el promedio del pH fue de 7.7, mientras que la materia orgánica fue de 0.76% en los primeros 20 cm de profundidad. En la actualidad, este promedio seguramente ha disminuido considerablemente, ya que estudios de hace aproximadamente 50 años indicaban que el contenido de materia orgánica en los suelos de este Valle, era de alrededor del 3%. De hecho, un suelo se considera aceptablemente fértil cuando su contenido en materia orgánica se encuentra en niveles del 2% (Meisner *et al.*, 1992).

Agua de riego.

La calidad del agua de riego y su manejo adecuado son esenciales para la producción exitosa de los cultivos. Los rendimientos y las condiciones físicas del suelo pueden ser afectados por la calidad del agua de riego. El agua de riego que se utilizó en este trabajo, se considera aceptable, dado que en el tiempo en que se ha aplicado a los suelos y a los diferentes cultivos que se establecen en el Campo Experimental, no se han detectado problemas de salinidad o conductividad eléctrica (C.E), sólidos totales disueltos (TDS) y relación de adsorción de sodio (RAS), parámetros asociados con el uso adecuado de las aguas de riego. Los análisis químicos, establecen que la conductividad eléctrica del agua, está por debajo del nivel crítico "2 milimohos", por lo que se deduce que los niveles de salinidad no interfirieron sobre los resultados del experimento.

Material genético.

En la evaluación de los tratamientos se utilizó, para la siembra, la variedad Kronstad proporcionada por el INIFAP. Comparada con otras variedades de su clase, esta variedad no se caracteriza por ser rendidora, pero sí por producir un grano de alto contenido de proteína, por lo cual tiene muy buena aceptación por parte de la industria.

Diseño experimental y análisis estadístico.

Los nueve tratamientos del estudio se establecieron en el campo bajo un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones, los cuales totalizaron 27 unidades experimentales (Figura 2), con cada unidad experimental formada por cuatro camas de 0.8 m. de ancho y 5.0 metros de largo. La parcela utilizada para evaluar rendimiento de grano, estuvo formada por las dos camas centrales de 5 m de largo, mismas que equivalen a una superficie de 8.0 m². Después de la cosecha, las muestras se trasladaron al laboratorio de calidad de trigo del INIFAP, donde se limpiaron, pesaron y se estimó el contenido de humedad, y luego proceder a efectuar las evaluaciones del rendimiento de grano, así como análisis de la proteína en un equipo NIR Perten, para cada repetición de los tratamientos. Se aplicó el análisis estadístico para comparar los efectos de los tratamientos estudiados sobre las variables registradas. Esto se realizó con el paquete estadístico SAS (1995) versión 8.12 para Windows. La comparación de las medias se hizo con la prueba de Tukey. Todos los análisis de las variables medidas se establecieron con una probabilidad ($P \leq 0.05$) y ($P \leq 0.01$). Se realizó un análisis de correlación (r) mediante el procedimiento CORR de SAS (1995), versión 8.12 para Windows, con la finalidad de seleccionar aquellas variables con mayor índice de correlación, así como la variable con mayor correlación respecto al rendimiento.



Figura 2. Distribución de los tratamientos de fertilización química y biofertilizantes en trigo en el sur de Sonora, México

Establecimiento del experimento.

Antes de establecer el experimento, se seleccionó el sitio más adecuado y disponible para ejecutar este trabajo. La correcta selección del lugar donde se establezca un experimento representa la base para la evaluación y el análisis estadístico. Una vez seleccionado el terreno se procedió a cultivarlo mediante el paso de un equipo de cincel, para posteriormente realizar tres pasos de rastra para reducir el tamaño de los terrones y facilitar la siembra y además que permitiera incorporar los fertilizantes correctamente; luego se emparejó el terreno por medio de un tablón, y a continuación se formaron los surcos y, finalmente estos surcos fueron acamados.

Una vez preparado el terreno se llevo a cabo el trazo del área destinada a desarrollar este experimento, esto se realizó con ayuda de ixtle y estacas de madera; se marcó el largo de las parcelas experimentales con cal (Figura 3), y en la periferia se levantó un bordo de 30 cm para retener el agua de los riegos que se realizaron.

La siembra se llevó a cabo el día 27 de noviembre del 2008, utilizando una densidad de 65 kg de semilla/ha proporcionalmente, y se sembró a doble hilera sobre la cama, utilizando una sembradora experimental Plotman Wintersteiger. Durante el desarrollo del cultivo se evito el crecimiento de malezas para impedir la competencia por nutrientes y una posible infestación deshierbando con la ayuda de un azadón en toda el área experimental.

Los riegos del cultivo, se dieron de acuerdo a lo recomendado en la guía técnica de trigo de INIFAP. El primer riego se dio inmediatamente después de la siembra con una lámina de 20 cm. Los tres riegos de auxilio se efectuaron en las etapas de encañe, espigamiento y finalmente en la etapa de llenado de grano, aproximadamente a los 45, 30 y 25 días después de cada uno de los riegos.



Figura 3. Trazo de las parcelas experimentales de los diferentes tratamientos de fertilización química y biofertilizantes en trigo en el sur de Sonora, México.

Fertilización.

Para realizar esta actividad, se utilizó la siguiente fuente: urea 46% N. La aplicación del fertilizante se realizó en forma manual, al voleo (Figura 4). Después de la fertilización se aplicó el riego para su solubilización. La fuente de fertilización química fue la urea, misma que proporciona el nitrógeno requerido para la nutrición del trigo y es también la fuente de fertilización que normalmente utiliza el agricultor en la región sur del estado de Sonora, México. Conforme a las recomendaciones del INIFAP, el cultivo de trigo requiere de 276 unidades. El costo por unidad de nitrógeno aportado por la urea es de \$14.13, por lo que los costos de la F.I., es de \$3,899, en el año en que se realizó este estudio. De acuerdo a un análisis del suelo previo al establecimiento del cultivo, no se recomendó la aplicación de fosforo. De esta manera, los costos relativos al 50% de la fertilización inorgánica regional son de \$1,949.5.

Los tratamientos de los bio-fertilizantes: (Micorrizas, Aplicación foliar de algas, Aplicación de algas al suelo, Aplicación dual de algas (foliar + suelo), Aplicación de algas a la semilla, Aplicación de algas + bagazo de algas 100 y Aplicación de algas + bagazo de algas 500), se combinaron con el 50% de la F.I. recomendada por el INIFAP.

Aplicación de agroquímicos.

Durante el ciclo del cultivo en cuestión, en la etapa fenológica de espigamiento del cultivo, se aplicó dimetoato, insecticida en las dosis recomendadas como medida preventiva para evitar un ataque masivo de trips y pulgones. También, dada la posible presencia de condiciones favorables para el desarrollo de una epidemia de roya de la hoja, se realizaron, de manera preventiva, dos aspersiones con los fungicidas.



Figura 4. Fertilización inorgánica al voleo de los diferentes tratamientos de fertilización química y biofertilizantes en trigo en el sur de Sonora, México .

Cosecha.

La cosecha del trigo se realizó el día 23 de abril del 2009, con el uso de una cosechadora Wintersteiger Classic (Figura 5), cosechando por separado las dos camas centrales para la evaluación de rendimiento y calidad del grano, y las camas laterales para obtener grano destinado a realizar parte de los análisis en este experimento. Las muestras de cada parcela experimental se recogieron en costales previamente identificados con el número de tratamiento y la repetición correspondiente a cada uno de los diferentes tratamientos, después estos costales fueron transportados a la bodega del programa de trigo, donde se limpiaron por medio de unas ventiladoras para obtener grano libre de paja.

VARIABLES EVALUADAS.

Rendimiento en grano. La evaluación del rendimiento, se registro utilizando el grano cosechado en las camas centrales (parcela útil) de cada parcela experimental. Posteriormente, mediante una transformación aritmética, el grano producido en cada parcela útil quedó expresado en toneladas por hectárea.

Análisis de proteína en el grano. La determinación de proteína, se llevó a cabo utilizando 200 gramos de muestra, las cuales se ventilaron y limpiaron para obtener la muestra libre de paja, polvo y cualquier material extraño. Se utilizó el equipo medidor de proteína NIR Inframatic Perten, modelo 1241, calibrado para estimar las lecturas de esta variable en dicho grano a una humedad del 14%, con este equipo también se obtuvo el contenido de humedad en grano para su posterior acondicionamiento y molienda. En la Figura 6, se muestra el equipo NIR.



Figura 5. Cosecha de trigo de las diferentes parcelas con los tratamientos de fertilización química y biofertilizantes en el sur de Sonora, México .

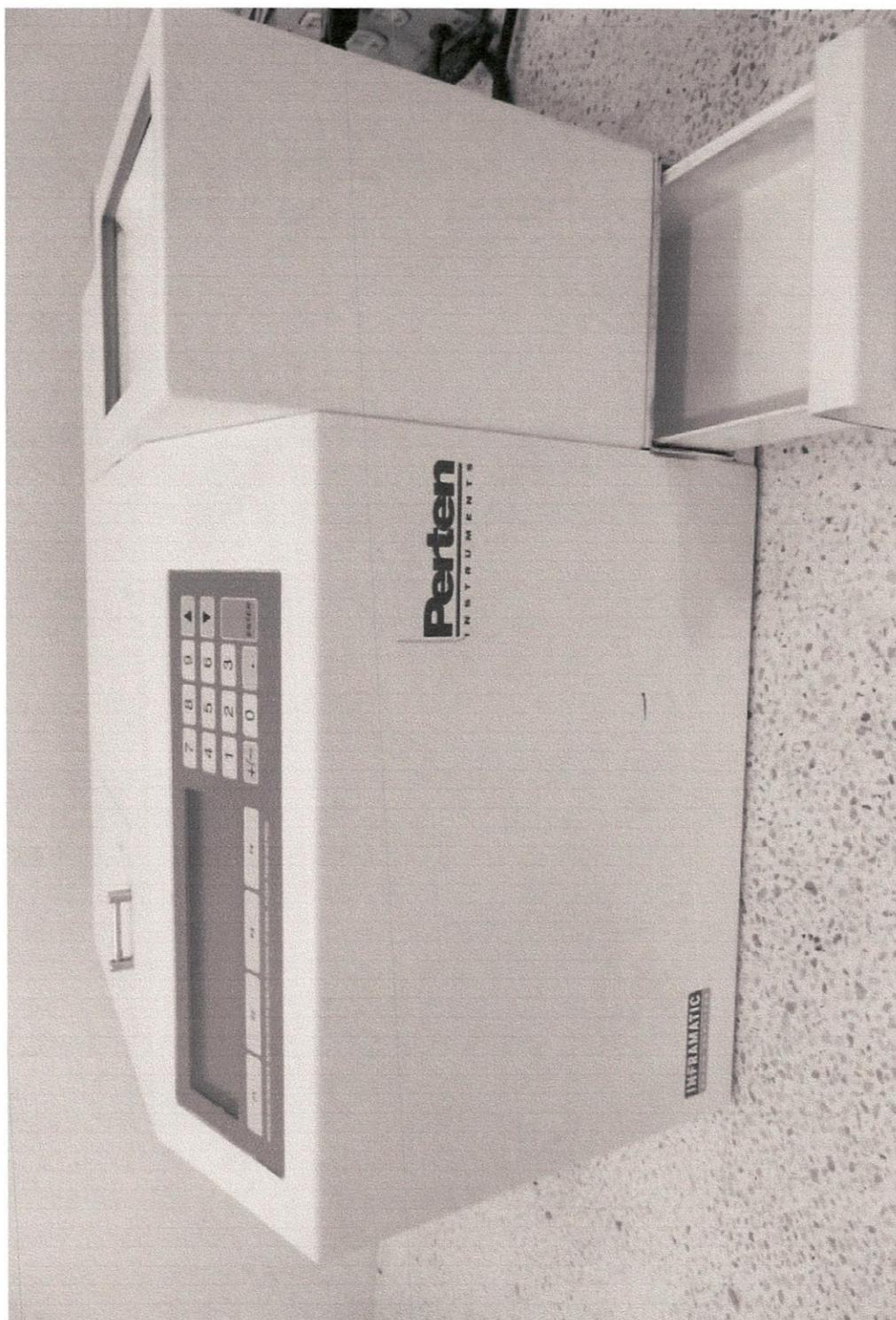


Figura 6. Equipo NIR- Perten 1241 utilizado para el análisis de proteína en grano.

Panza blanca. La panza blanca es el aspecto moteado del grano de trigo, y es debido a manchas que varían del blanco al blanco amarillento (Figura 7), de acuerdo con el color de las capas externas de la semilla o cascarilla. La presencia de este carácter no afecta el rendimiento, pero si la calidad industrial (Headden, 1915), por lo que, según las normas de calidad que maneja la industria, ésta establece que en el grano para exportación, se acepta un máximo de hasta el 8% de panza blanca; y para la industria nacional, se acepta hasta el 15% máximo. La disponibilidad de Nitrógeno determina la presencia de este carácter en el grano de trigo (Solis y Díaz, 2001). Para evaluar esta variable se consideró una muestra de 1000 granos, donde se calculó el porcentaje de granos con panza blanca. Este análisis se efectuó por triplicado en cada uno de los tratamientos.

Peso de mil granos. El peso de mil granos en trigo es un parámetro fuertemente indicador de rendimiento harinero o semolero ya que el porcentaje de endosperma en granos de trigo de una misma variedad es normalmente mayor en granos más grandes. Este parámetro detecta posibles anomalías que ocurren en el grano durante su formación; tal como el asurado o grano arrugado, fenómeno causado a partir de los 28°C, y que coincide con viento seco, incluso en regadío y con buena humedad en el suelo, demostrando que la falta de agua no es el causante principal, sino una descomposición fisiológica, también puede ocurrir por la influencia de los tratamientos realizados al cultivo o de las condiciones climáticas durante el desarrollo del mismo. Un final de ciclo vegetativo sin condiciones de estrés de humedad en el suelo y temperaturas no excesivamente elevadas, permite que el grano alcance un mayor tamaño, por lo que cada grano aporta más cantidad bruta de endospermo, y por tanto, más harina o sémola producida, según el tipo de trigo (harinero o cristalino). Su valor se expresa en gramos (Dios *et al.*, 1992).



Figura 7. Granos de trigo harinero del testigo absoluto con panza blanca.

Peso hectolítrico. El peso hectolítrico es uno de los parámetros más importantes en el comercio mundial, debido a que está relacionado con la condición física del grano, y por lo tanto, con la densidad real de este; así, que se expresa en kg hl^{-1} . La densidad del grano está determinada por la estructura biológica y la composición química, incluyendo el contenido de humedad. Este parámetro está influenciado por la forma y el tamaño del grano. Otros factores, como son la presencia de trigos inmaduros o dañados severamente por la sequía o por enfermedades, disminuyen el peso hectolítrico, y por lo tanto, el rendimiento harinero (Peña *et al.*, 2002). Para los molineros, el peso hectolítrico es un parámetro que está ligado al rendimiento de harina o de sémola, y se han determinado mínimos de peso hectolítrico de 78 para trigo harinero (panadero), 73 para blando (galletero) y 81 para trigos cristalinos o duros (pastas), estos valores se expresan en kg/hl o g/L .

Fuerza de gluten. La fuerza o resistencia de la masa estimada utilizando el Alveógrafo de Chopin, es un parámetro reológico o de procesamiento, asociado con las propiedades de amasado del gluten; esta cuantificación es utilizada por la industria harinera o semolera, para evaluar la calidad de panificación, pastificación, bollería y de cualquier otro proceso industrial o artesanal que implique el uso de masas de las diferentes variedades de trigo o mezclas de este cereal, realizadas por la industria. Los parámetros que se evalúan mediante el uso del alveógrafo son: La altura (h) de la curva que mide la presión aplicada durante el “inflamamiento” de la burbuja de la masa, y es la que indica la tenacidad (P) de la misma, esta propiedad la confieren principalmente las gluteninas, en el alveograma se mide en el eje de las ordenadas. La longitud de la curva (L), la cual mide la extensibilidad de la masa o la viscosidad de la misma, desde la aplicación de la presión hasta el rompimiento de la superficie de la burbuja o alveolo, esto es debido principalmente a la fracción de las

proteínas conocidas como gliadinas, en el alveograma se mide en el eje de las abscisas. El área bajo la curva (S) representa la fuerza de la masa (Figura 8) y (W) que indica la fuerza total de la masa. Las unidades $W \times 10^{-4}$ J expresan el trabajo mecánico usado para romper la masa y se calcula mediante la siguiente fórmula: $W = 6.54 \times S$. Los parámetros alveográficos más importantes son: la tenacidad, la extensibilidad, la fuerza general y el cociente tenacidad-extensibilidad, el cual se utiliza como W y P/L o P/G (por su terminología en inglés), todos estos parámetros están directamente relacionados con el comportamiento de los productos de las masas durante el tiempo de fermentación y el horneado. Con estos parámetros se pueden clasificar variedades de trigo en cuatro diferentes grupos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de variedades de trigo de acuerdo al valor de $W \times 10^{-4}$ J y P/L (Peña *et al.*, 2002).

Grupo	Valor de $W \times 10^{-4}$ Joul	P/L
1. Gluten Fuerte	>300	<1.2
2. Gluten Medio Fuerte	200-300	<1.2
3. Gluten Suave	<200	<1.2
4. Gluten Tenaz	<200	>1.2

Por medio de esta prueba reológica o de procesamiento, variedades de trigo con fuerza de gluten suave, medio-fuerte y fuerte, y con buena extensibilidad, tienen un uso específico en las industrias que procesan este cereal; y son indeseables variedades de trigo con fuerza de gluten suave-tenaz y medio-tenaz con pobre extensibilidad. Los trigos tenaces actualmente ya no se siembran en México. Este parámetro se encuentra fuertemente influenciado por las condiciones ambientales, manejo agronómico.

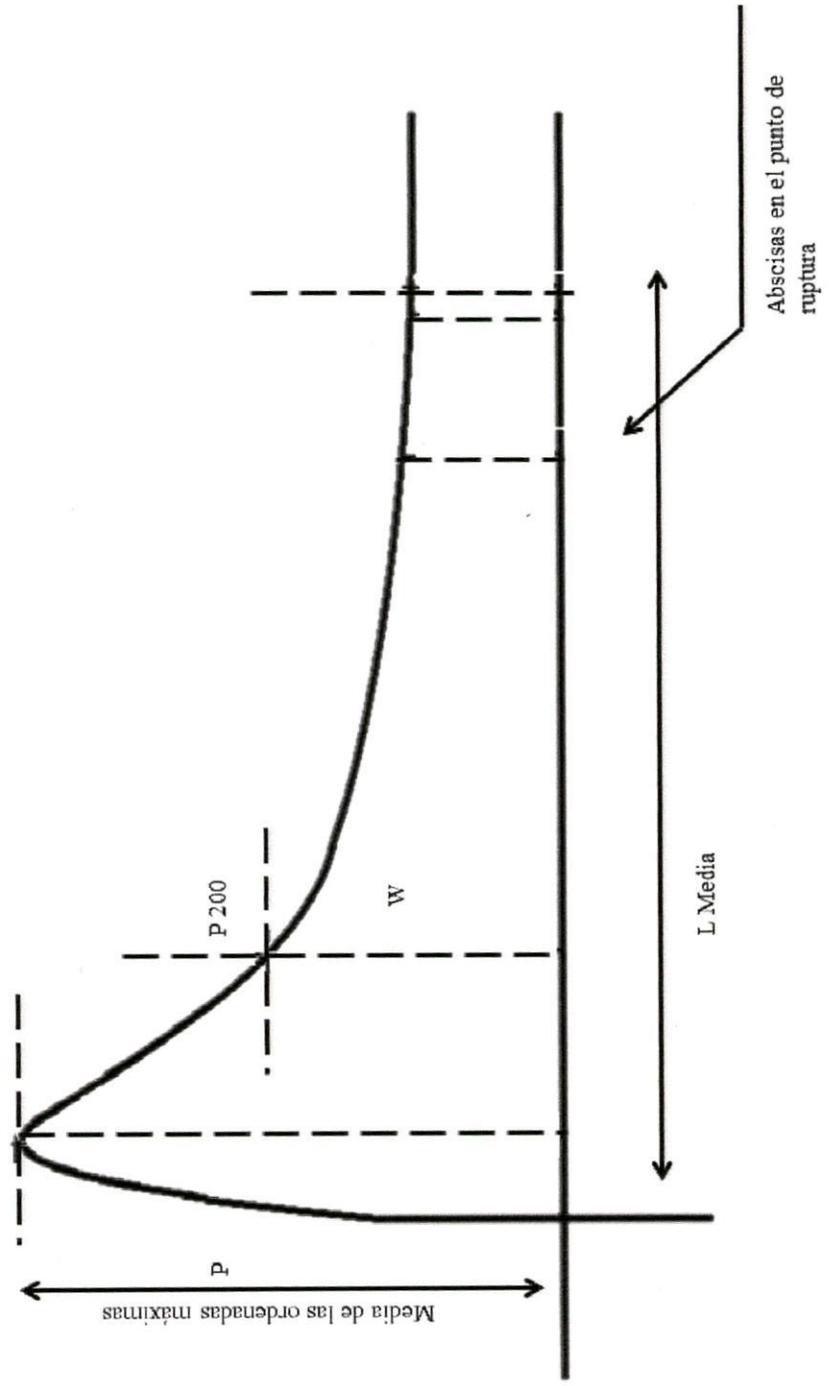


Figura 8. Figura alveográfica de trigo harinero

Punta negra. La punta negra (PN), es una enfermedad inducida principalmente por varios hongos patógenos de los géneros *Alternaria*, *Bipolaris* y *Cladosporium*, que causa la decoloración del embrión y las áreas circundantes del grano de trigo (Figura 9). La enfermedad se puede producir en condiciones de alta humedad durante la etapa fenológica de grano lechoso y grano pastoso, y se ve favorecida por la época y disposición del riego, o la lluvia durante este período. Las bajas temperaturas y las heladas durante este estado de crecimiento también pueden contribuir a aumentar la infección por parte de los hongos (Fernández, 2000). Por lo general, la PN no reduce el rendimiento, pero los granos ennegrecidos se consideran dañados, y los productos elaborados a partir de ellos pueden tener un color u olor indeseable (Fernández *et al.*, 2000; Toklu *et al.*, 2008); por lo cual, su presencia es motivo de descuento para el productor, principalmente para el grano de trigo duro, el cual se utiliza para la elaboración de pastas alimenticias, trigo con niveles de PN mayor a 3 por ciento producen pastas con puntos negros, indeseables para el consumidor.

Mientras que el pan procedente de granos con presencia de la enfermedad presentan color de la miga grisáceo y mala calidad (García *et al.*, 2012). Valores de punta negra mayores al 8% es posible que no tengan cabida en el mercado, generalmente los molineros los rechazan. No obstante pruebas de germinación de granos con PN, cuando la microbiota predominante es *Alternaria* spp, han demostrado que estos germinan normalmente, por lo que el agricultor puede utilizar estos granos como semilla, siempre y cuando no se encuentre presente *Fusarium graminearum* *pseudograminearum*, *Fusarium culmorum* y/o *Stagonospora nodorum* (INIA, 2008). Esta variable se tomó en muestras de 1000 granos, donde se calculó el porcentaje.

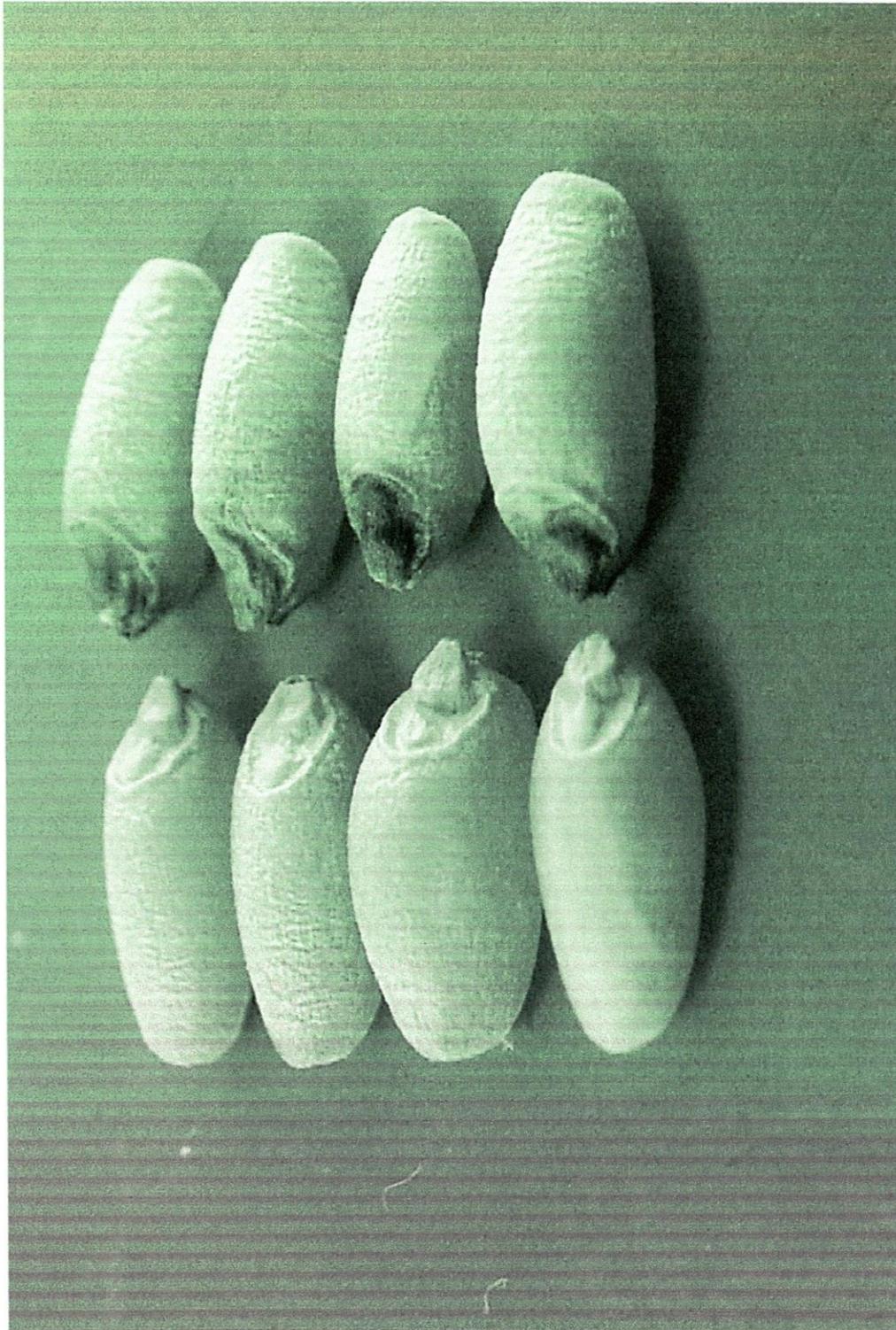


Figura 9. Muestra de grano sanos e infectados con punta negra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de grano (ton/ha).

El análisis estadístico de la información obtenida sobre la variable rendimiento de grano permitió establecer diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los tratamientos evaluados (Cuadro 2). En promedio los tratamientos produjeron 5.4 ton/ha, con un máximo de 6.4 ton/ha en el testigo regional (100% fertilización inorgánica) y un mínimo de 2.5 ton/ha en el tratamiento testigo absoluto (sin fertilización). El coeficiente de variación fue de 7.4%, lo cual da confianza a la información obtenida. La comparación de medias de rendimiento ($P \geq 0.5$), permitió agrupar las medias de rendimiento en tres grupos (Cuadro 3), en el primero de los cuales sobresale el testigo regional, sin embargo fue estadísticamente igual a los tratamientos resultantes de la combinación del 50% de la fertilización inorgánica regional, combinada con el uso de las micorrizas (T3), algas (foliar + suelo) (T6), algas al suelo (T5) y bagazo de algas 500 (T9); pero sí superior a los tratamientos testigo sin fertilización alguna (T1), y algas a la semilla (T7). El tratamiento testigo absoluto (sin fertilización) se localizó en el último grupo, esto porque fue estadísticamente inferior al resto de los tratamientos evaluados. Los resultados aquí expuestos corroboran los resultados de Caballero *et al.*, 2009, que lograron incrementos en los rendimientos en trigo al reducir el 50% de fertilizante inorgánico, combinado con micorrizas. A pesar que la fertilización con extractos de algas se recomienda solo como complemento a los fertilizantes nitrogenados, Dhar *et al.*, (2007), mencionan que en los niveles más bajos de fertilización inorgánica la respuesta en la productividad de los cultivos es mejor y que existe la necesidad de promover el uso de las algas como una entrada económicamente viable y también como una fuente renovable de los nutrientes necesarios

Cuadro 2. Análisis de varianza del rendimiento de grano (t/ha) en tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug. Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Pr > F
Modelo	11	36.441	3.313	20.570	<.0001
Tratamiento	8	33.772	4.222	26.220	<.0001
Repetición	3	3.933	1.311	8.140	0.0019
Error	15	2.415	0.161		
Total corregido	26	38.857			

Cuadro 3. Comparación de medias de rendimiento (ton/ha) obtenido bajo diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug. Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.

Núm. De tratamiento	Tratamientos	Rendimiento (ton/ha*)
2	Testigo regional (100% de fertilización inorgánica)	6.4 a
3	Micorrizas + 50% de fertilización inorgánica (F.I)	6.1ab
6	Aplicación de algas al suelo + foliar + 50% de F.I	6.0ab
5	Aplicación de algas al suelo + 50% de F.I	5.8ab
9	Aplicación de bagazo de algas 500 + 50% de F.I	5.8ab
4	Aplicación folia de algas + 50% de F.I	5.6ab
8	Aplicación de bagazo de algas 100 + 50% de F.I	5.4ab
7	Aplicación de algas a la semilla	5.2 b
1	Testigo absoluto	2.5e

*Letras con la misma literal son iguales estadísticamente a un 5.0% en la prueba de Tukey

para la salud de los suelos y la sostenibilidad de los cultivos. Sin embargo estos resultados no concuerdan con los resultados de Behera y Rautaray (2010), que informaron que los biofertilizantes no eran tan eficaces como los fertilizantes químicos en la producción de trigo.

Análisis económico.

El costo de los fertilizantes químicos (urea) que se usaron se determinó con base al precio de venta durante el año de la evaluación de este trabajo, no se considera el precio de los fertilizantes orgánicos ya que durante el año de esta evaluación, dichos productos fueron donados a los agricultores, y en ningún caso se consideran los costos de mano de obra ni de energía, ya que dichos experimentos fueron evaluados en circunstancias equiparables, tanto en el uso de los fertilizantes inorgánicos como de los orgánicos.

El análisis de costo beneficio (Cuadro 4) indica que, aun cuando el testigo regional mostró un mayor rendimiento absoluto (6, 400 t/ha), en términos económicos el uso de una fertilización equivalente al 50% del paquete tecnológico inorgánico regional, combinada con los bio-fertilizantes en forma de micorrizas (tratamiento 3) y el tratamiento de algas aplicadas al suelo + foliar (6), superaron la utilidad por hectárea en relación al testigo inorgánico regional, en \$ 693.00 y \$ 234.50 por ha, respectivamente. Esto equivale a un incremento en las ganancias económicas del 24.75 y 8.38% respectivamente; lo anterior, debido a la reducción de los costos invertidos en la fertilización. El resto de los tratamientos, en donde se utilizaron diferentes formas de aplicar algas (tratamientos 4, 5, 7, 8 y 9), resultaron con una menor rentabilidad económica con relación al testigo regional, mismos que variaron entre el 14.63% (tratamiento 9) y 73.63 cuando las algas se aplicaron a la semilla (tratamiento 7). Bajo estos términos, se considera que este estudio concuerda

Cuadro 4. Comportamiento de los diferentes tratamientos de fertilización, análisis de costo - beneficio y costo debido a la fertilización en trigo en el Valle del Yaqui, Sonora, México.

Tratamiento	Rendimiento t/ha*	Diferencia en rendimiento t/ha	Perdidas (\$)	Costo de la fertilización por ha	Costo/ha por la fertilización (\$)
Testigo regional				3,097.00	3,097 (100k urea =460 k Nitrogeno \$9500)
Micorrizas + 50% de fertilización inorgánica	6.13 a b	0.270	683.00	1,648.00	1,548 (urea) + 100/ha (micorrizas)
Aplicación de algas al suelo + foliar	6.02 a b c	0.380	234.50	1,798.50	1548 urea + 250 algas
Aplicación de algas al suelo	5.82 a b c	0.580	-325.50	1,798.50	1548 urea + 250 algas
Aplicación de bagazo de algas 500	5.79 a b c d	0.610	-409.50	1,798.50	1548 urea + 250 algas
Aplicación foliar de algas	5.61 b c d	0.790	-913.50	1,798.50	1548 urea + 250 algas
Aplicación de bagazo de algas 100	5.41 b c d	0.990	-1473.50	1,798.50	1548 urea + 250 algas
Aplicación de algas a la semilla	5.20 d	1.200	-2,061.50	1,798.50	1548 urea + 250 algas
Testigo absoluto	2.5 e	3.920	-6,080.50	0.00	0

*Valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.01$).

con los resultados observados por Dhar *et al.*, 2007 y Caballero *et al.*, 2009, quienes reportan aumentos en la productividad de trigo y otros cultivos en diferentes regiones al reducir hasta en un 50% la fertilización inorgánica. Sin embargo, son pocos los estudios que reportan los análisis relativos al costo-beneficio en sus investigaciones. (Díaz *et al.*, 2005).

Proteína en grano.

En el Cuadro 5, se muestra el análisis de varianza de la información obtenida sobre la variable proteína en grano, la cual permitió establecer diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). La comparación de medias de proteína ($P \geq 0.5$) permitió agrupar las medias de proteína en tres grupos (Cuadro 6). En el primer grupo sobresale el testigo regional, resultando estadísticamente diferente al resto de los tratamientos; un segundo grupo lo formaron los tratamientos resultantes de la combinación del 50% de la fertilización inorgánica regional, combinada con el uso de algas en forma foliar (4), bagazo de algas 500 (9), micorrizas (3), algas al suelo (5), algas aplicadas a la semilla (7), algas (foliar + suelo) (6) y bagazo de algas 100 (8).

El tratamiento testigo absoluto (sin fertilización) se localizó en el último grupo, esto porque fue estadísticamente inferior al resto de los tratamientos evaluados. Estos resultados coinciden con los reportados por Behera *et al.*, 2007; Bahera y Rautaray, 2010; que mencionan que todos los parámetros de calidad industrial, incluyendo proteína en grano, no varían significativamente entre los tratamientos de diferentes biofertilizantes combinados con el 50% de fertilización inorgánica compuesta por nitrógeno, fósforo, y potasio, esto indica la posible disponibilidad de nutrientes en cantidades similares en los diferentes tratamientos de biofertilizantes utilizados en el cultivo de trigo.

Cuadro 5. Análisis de varianza de proteína en grano (%) en tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug. Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.

Fuente de variación	G.L	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Pr > F
Modelo	11	18.604	1.691	8.100	<.0001
Tratamiento	8	16.6.92	2.086	9.990	<.0001
Repetición	3	1.344	0.448	2.150	0.1403
Error	15	2.924	0.209		
Total corregido	26	21.529			

Cuadro 6. Comparación de medias de proteína en grano (%) bajo diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug. Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.

Núm. de tratamiento	Tratamientos	Proteína (%)*
2	Testigo regional (100% de fertilización inorgánica)	12.7a
4	Micorrizas + 50% de fertilización inorgánica (F.I)	11.7 b
9	Aplicación de algas al suelo + foliar + 50% F.I	11.7 b
3	Aplicación de algas al suelo + 50% F.I	11.4 b
5	Aplicación de bagazo de algas 500 + 50% F.I	11.3 b
7	Aplicación foliar de algas + 50% F.I	11.2 b
6	Aplicación de bagazo de algas 100 + 50% F.I	11.1 b
8	Aplicación de algas a la semilla+ 50% F.I	10.9 b
1	Testigo absoluto	9.6 c

*Valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.01$).

Panza blanca.

Existen diferencias significativas en la variable de panza blanca ($P \leq 0.01$) en los tratamientos probados (Cuadro 7). La comparación de medias (Tukey 5%) de la esta variable, permitió concentrarlas en dos grupos (Cuadro 8), en el primero de ellos se encuentra en solitario el testigo absoluto, con niveles más altos de panza blanca, mientras que el segundo grupo está formado por los tratamientos combinados con el 50% de F.I + algas a la semilla (7), algas foliar (4), micorrizas (3), bagazo de algas 100 (8), bagazo de algas 500 (9), algas (foliar + suelo) (6), algas al suelo (5) y Testigo Regional (2).

Con excepción del testigo absoluto, el resto de los tratamientos no manifestaron disturbios nutricionales expresado en la expresión de la panza blanca, causados por la insuficiencia de nitrógeno en el grano, por lo que se considera que la planta de trigo encontró requerimientos nutricionales adecuados en la cantidad de nitrógeno aplicado en forma de bio-fertilizantes para complementar al fertilizante inorgánico o químico utilizado, y para que el cultivo se desarrollara en forma normal, así como para que manifestara su habilidad de producir proteína en el grano. Estos resultados coinciden con los reportados por Behera *et al.*, (2007); Bahera *et al.*, (2010), quienes mencionan que los parámetros de calidad, como es el caso del contenido de panza blanca, no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de diferentes biofertilizantes combinados con el 50% de la fertilización inorgánica basada en tres elementos tales como: Nitrógeno, Fósforo y Potasio (NPK), lo que corrobora los resultados obtenidos en los experimentos llevados a cabo en este trabajo. Estos resultados indican que en el cultivo de trigo, la disponibilidad de nutrientes presentes en los biofertilizantes orgánicos fue suficiente para la formación de proteínas en el grano de este cereal, evitando la presencia de panza blanca.

Cuadro 7. Análisis de varianza de panza blanca en grano (%) en tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug. Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.

Fuente de variación	G.L	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Pr > F
Modelo	11	1194.817	108.620	9.550	<.0001
Tratamiento	8	1096.032	137.004	12.050	<.0001
Repetición	3	23.110	7.703	0.680	0.5792
Error	15	170.543	11.370		
Total corregido	26	1365.360			

Cuadro 8. Comparación de medias de panza blanca en grano (%) bajo diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug. Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.

Tratamientos	Panza blanca (%)*
Testigo absoluto	22.53 a
Aplicación de algas a la semilla + 50% Fertilización inorgánica (F.I)	2.47 b
Aplicación foliar de algas + 50% Fertilización inorgánica	2.33 b
Micorrizas + 50% de fertilización inorgánica + 50% Fertilización inorgánica	2.33 b
Aplicación de bagazo de algas 100 + 50% Fertilización inorgánica	1.93 b
Aplicación de bagazo de algas 500 + 50% Fertilización inorgánica	1.53 b
Aplicación de algas al suelo + foliar + 50% Fertilización inorgánica	1.4 b
Aplicación de algas al suelo + 50% Fertilización inorgánica	1.33 b
Testigo regional 100% fertilización regional	0.13 b

*Valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.01$).

Fuerza de gluten.

Los resultados obtenidos para la variable fuerza del gluten se muestran en el Cuadro 9, donde se puede observar que los tratamientos con la fertilización del paquete Regional (2) y la adición de Algas al suelo (4), difieren significativamente en comparación con el resto de los tratamientos. Esto es un indicativo de que, la adición de algas al suelo es equiparable con la fertilización inorgánica regional en esta variable, reflejándose en que el grano producido mostró una Fuerza de Gluten clasificada como fuerte con buena extensibilidad, características deseables para la industria que procesan este cereal para la elaboración de pan. El resto de los tratamientos incluido el control resultaron con una Fuerza de Gluten entre 215 a 296, lo que las clasifica como harinas de gluten medio, de menor calidad. No existe información referente a esta variable por medio del uso de fertilizantes orgánicos, ya que por lo general las investigaciones están encaminadas a incrementar el rendimiento de grano por hectárea, sin embargo, la Fuerza del Gluten está fuertemente influenciada por el contenido de proteína, por lo que es de esperarse la misma tendencia entre estas variables.

Peso de 1000 granos, peso hectolítrico y punta negra.

Los resultados obtenidos en la variable Peso de 1000 granos, Peso hectolítrico y Punta negra muestran que no hubo diferencia significativa con ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 10). Cabe indicar que las condiciones climatológicas durante el establecimiento del estudio, fueron propicias para el cultivo, reflejándose en un grano de buen tamaño y peso, lo que indica buen llenado de grano, más cantidad de endospermo, y por tanto, mayor rendimiento de harina o sémola. Los resultados de este trabajo revelan que existe disponibilidad de nutrientes en los diferentes bifertilizantes, combinándolos con el 50% de la fertilización química, al igual que cuando se fertiliza con el 100% de la

fertilización química. Behera *et al.*, (2007), mencionaron que no hay efecto significativo de diferentes biofertilizantes sobre la contribución de nutrientes en trigo duro.

Estos resultados muestran que la combinación de la fertilización orgánica con el 50% de la fertilización química fue capaz de nutrir o llevar a un buen desarrollo al cultivo de trigo harinero. Mishra y Gupta, (1995), mencionan que tanto el peso hectolitrico como el peso de mil granos son parámetro de calidad importantes, que indican el llenado de grano, a mayor peso hectolitrico o mayor peso de mil granos, mayor rendimiento harinero y menor contenido de cenizas, resultando una harina con buen comportamiento tecnológico en los diferentes procesos industriales. Son pocos los trabajos que existen donde se evalúen estos parámetros. Se requiere experimentar con otras combinaciones de estos fertilizantes químicos y biológicos y por más tiempo.

Cuadro 9. Fuerza del gluten en trigo harinero bajo diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug. Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.

Repetición	Tratamientos*								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	195	298	303	303	269	320	283	250	307
2	232	347	305	373	286	269	318	306	283
3	190	347	299	318	268	330	287	298	294
Promedio**	215 d	312 a	286 b	315 a	269 c	296 b	292 b	269 c	287 b

*Testigo absoluto (1), Fertilización regional (2), Micorrizas + 50 % de Fertilización inorgánica (3), Algas aplicadas al suelo + 50% de Fertilización inorgánica (4), Algas aplicadas al suelo + 50% de Fertilización inorgánica (5), Algas aplicadas al suelo + Algas aplicada en forma foliar + 50% de Fertilización inorgánica (6), Algas aplicadas a la semilla + 50% de fertilización inorgánica (7), Bagazo de algas 100 + 50% Fertilización inorgánica (8), Bagazo de algas 500 + 50% de la Fertilización inorgánica.

**Promedios con la misma literal en columna indican que no existen diferencias significativas ($P \geq 0.05$).

Cuadro 10. Peso de mil granos, peso hectolítrico, punta negra en trigo harinero en diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica en el Campo Experimental Norman E. Borlaug. Ciclo Otoño-Invierno 2008-2009.

Tratamiento	Peso de mil granos (g)	Peso hectolítrico (k/hl)	Punta negra (%)*
Testigo absoluto	45.53a	80.3a	15.8a
Testigo regional	43.47a	81.5a	11.7a
Micorrizas + 50% de fertilización inorgánica	45.53a	81.4a	16.4a
Aplicación foliar de algas + 50% de fertilización inorgánica	43.80a	81.6a	12.5a
Aplicación de algas al suelo +50% de fertilización inorgánica	44.93a	81.5a	16.5a
Aplicación de algas al suelo+foliar +50% de fertilización inorgánica	44.20a	81.3a	21.1a
Aplicación de algas a la semilla+50% de fertilización inorgánica	43.47a	81.7a	15.6a
Aplicación de bagazo de algas 100+50% de fertilización inorgánica	43.13a	81.3a	17.2a
Aplicación de bagazo de algas 500+50% de fertilización inorgánica	44.47a	81.8a	11.8a

*Valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.01$).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que, con el uso de biofertilizantes combinados con el 50% de la fertilización regional a base de urea, se conservan o mantienen los parámetros de calidad industrial del grano de trigo harinero, aunque no hubo incrementos en la productividad de este cereal. Este proceso de fertilización combinada, conllevó a evidentes ventajas económicas, debido a una reducción en los costos de la fertilización. Sin embargo, para lograr la aceptación de un determinado insumo en la agricultura, una gran proporción de productores espera un incremento en el rendimiento y/o en la calidad de sus cultivos, más que una disminución en sus costos de producción. Pero los agricultores con escasa capacidad de inversión en fertilizantes pueden optar por el uso integrado de biofertilizantes con menor adición de fertilizantes químicos para obtener mayores ganancias netas.

El experimento descrito en esta tesis, tuvo lugar en un sólo ciclo de siembra, por lo que se recomienda evaluar los productos aquí propuestos por períodos más largos, con el fin de estar preparados con la información requerida, ya que la tendencia indica que la agricultura orgánica se está empezando a introducir en la agricultura intensiva y altamente tecnificada como la que se practica en el Valle del Yaqui, Sonora. Las mismas empresas trasnacionales productoras de agroquímicos están conscientes de las ventajas de los sistemas orgánicos, por lo que ya han empezado a adquirir empresas fabricantes de productos biológicos, con el fin de participar en los cambios y tendencias de la agricultura hacia sistemas orgánicos más benévolos con el ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Augier, H. 1974. Les phytohormones des algues I. Etude biochemique, *Annual Science Natural Botanic* 15:119-180.
- Bahera, U. K., y S. K. Rautaray. 2010. Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on productivity and quality parameters of durum wheat (*Triticum turgidum*) on a Vertisol of Central India. *Agronomy and Soil Science* 56(1):65-72.
- Bahera, U. K., A. R. Sharma and H. N Pandey. 2007. Sustaining productivity of wheat-soybean cropping system through integrated nutrient management practices on the Vertisol of Central India. *Plant Soil Science* 297:185-199.
- Bakker, M. G., D. K. Manter, A. M. Sheflin, T. L. Weir and J. M. Vivanco. 2012. Harnessing the rhizosphere microbiome through plant breeding and agricultural management. *Plant Soil* 360:1-13.
- Bentley-Mowar, J. A. and S. M. Reid. 1968. Investigation of the radish leaf bioassay for kinetins and demonstration of kinetin - like substances algae. *Annual Botany*. 32:23-32.
- Blunden, G. 1973. Effects of Liquid Seaweed Extracts as Fertilizers. *Annual Chimestry*. 17: 21-26.
- Blunden, G. 1977. Cytokinin activity of seaweed extract. *Journal of Plant Growth Regulation*. 111:123-132.
- Blunden, G. and P. B. Wildgoose. 1977. The effect of aqueous seaweed extract and kinetin on potato yields. *Jornal Science Food Agriculture*. 28:121-125.
- Bold, H. C. and M. J. Wynne. 1985. *Introducción to the algae. Structura and reproduction*. Prentice-Hall USA. 3: 307-321.
- Booth, E. 1969. The manufacture and properties of liquid seaweed extracts. *Seaweed Symposium*. 6:655-662.
- Brain, K. R., M. C. Chalopian, T. D. Turner, G. Blunden and P. B. Wildgoose. 1973. Cytokinin activity of commercial aqueous seaweed extract. *Plants Science Letter*. 1:241-245.
- Bula. M. G. 2004. Marine Macroalgae in the Agronomy and Potential use of Floating Sargassum for Manure Production in the San Andres and Providence Archipelago, Colombia. *Revista Intropica (Santa Marta)*. 8pp.

- Caballero M. J., L. J. Onofre, V. A. Wong, G. R. Castro, S. P. Estrada, S. J. Rodriguez, G. Iturriaga y A. L. Martinez. 2009. Uso de Azospirillum en México como biofertilizante y potencial de nuevas especies bacterianas como biofertilizantes, agentes de biorremediación y biocontrol de fitopatógenos. In: XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería y VII Simposium Internacional de producción de alcoholes y levaduras 21-26 de junio, 2009 Acapulco Guerrero, México.
- Canales, L. B. 2001. Uso de Derivados de Algas Marinas en la Producción de Tomate, Papa, Chile y Tomatillo. Resultados de investigación. http://www.uaaan.mx/posgrado/images/files/hort/simposio1/Ponencia_03.pdf. (Consultado el 23 de agosto del 2013).
- Canales, L. B. 1997. Las Algas en la Agricultura Orgánica. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) No. 68 p.89-91.
- Caputo, C. M., V. Criado y I. N. Roberts. 2009. Removilización del Nitrogeno en Plantas de Trigo como Herramientas para el Mejoramiento de la Eficiencia de uso. *Plant Physiology and Biochemistry*. 47:335-342.
- Cardon, Z. G., D. W. Gray, and L. A. Lewis. 2008. The green algal underground: evolutionary secrets of desert cell *Bioscience* 58:114-122.
- CICEANA, 2013. Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte America AC. Saber más del ciclo del Nitrogeno. <http://www.ciceana.org.mx/recursos/ciclo%20del%20nitrogeno.pdf>. (Consultado el 16 de agosto del 2013).
- Cook, R. L. 1983. The use of seaweed extract *Ascophyllum nodosum* for pregermination of anion sets *Horticulture* 2:457-462.
- Cook, A. A., P. J. D. Lambshead, L. E. Hawkins, N. Mitchell and L. A. Levin. 2000. Nematode abundance at the OMZ in the Arabian Sea. *Deep Sea Research II*. 47:75-85.
- Cox, S., N. Abu-Ghannam and S. Gupta. 2010. An assessment of the antioxidant and antimicrobial activity of six species of edible Irish seaweeds. *IFRJ* 17: 205-220.
- Cronquist, A. 1977. *Introducción a la Botánica*. Compañía Editorial Continental. México, D. F. 848 pp.
- Cruch, L and Standen. 1992. Evidence of the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. Department of Botany, University of Natal, Republic, of South Africa Kluder Academic Publishing The Netherlands.
- Dawes, C. 1998. *Botánica Marina*. Editorial Limusa. 762 pp. <http://valoraciencia.ucn.cl/guia/17-profe-pigmentos.pdf>. (Accesado el 15 dAgosto del 2013).

- Demirbas, A. 2009. Production of Bio-Diesel from Algae oils. *Energy Sources*. 31:163-168.
- Dhar, D., R. Prasana, and B.V. Singh. 2007. Comparative Performance of Three Carrier Based Blue Green Algal Biofertilizers for Sustainable Rice Cultivation. *Journal of Sustainable Agriculture*. 30(2):41-50.
- Díaz-Zorita, M, R. M. Baliña, C. M.V. Fernandez y A. Peticari. 2005. Rendimientos de cultivo de trigo en la región pampeana inoculados con *Azospirillum brasilense*. *INPOFOS. Informaciones Agronómicas* 29:17-19.
- Dios, C., R. Puig y J. L. Robutti. 1992. Tipificación de Maíces por algunas características de sus granos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Estación Experimental Pergamino. República Argentina 112.
- Faulkner, D. J. 2002. Marine natural products. *Natural Product. Reports* 19:1-48
- Featonby, B . C. and J. Van Staden. 1984. The effect of seaweed concentrate and fertilizer on growth and the endogenous cytoquinina in *Phaseolus vulgaris* *Journal Botanic*. 3:375-379.
- Fernandez, M. R., J. M. Clarke and R. M. De Pauw. 2000. Black Point Reaction of Durum and Common Wheat Cultivars Grown Under Irrigation in Southern Saskatchewan. *Plant Disease* 84:892-894.
- Flores, P., I. Castellar and J. Navarro. 2005. Nitrate leaching in Paper Cultivation with Organic Manure and Supplementary Additions of Mineral Fertilizer. *Soil Science* 36:2889-2899.
- Frikha, F., M. Kammoun, N. Hammami, R. A Mchirgui, L. Belbahri, Y. Gargouri, N. Miled end F. Ben-Rebah. 2011. Composición química y algunas actividades biológicas de algas marinas recolectadas en Túnez. *Ciencias Marinas*. 37(2): 113-124.
- García C., Palmero D., De Cara M., y González M. J. 2012. Microbiota Asociada a la enfermedad de la Punta Negra. Efectos del riego, el abonado nitrogenado y la variedad cultivada en la incidencia de la enfermedad. *Información Técnica Económica Agraria*, Vol. 108 (3):343-356.
- Gioseffi, E., A. de Neergaard, J. K. Schjoerring, and P. Cellier. 2012. Interacciones between uptake of amino acids and inorganic nitrogen in wheat plants. *Biogeosciences*, 9(4): 1509-1518.
- González, V. F. y A. Pomares. 2008. La fertilización y el Balance de Nutrientes en Sistemas Agroecológicos. Valencia. 24 p.

- Grossart, H., G. Czub and M. Simon. 2006. Algae bacteria interactions and their effects on aggregation and organic matter flux in the sea. *Environmental Microbiology* 8(6): 1074-1084.
- Headden, W. P. 1915. Yellow Berry in wheat its cause and prevention. *Colo Agriculture Experimental Santa Bul.* 205: 38-45.
- Hirose, T. 2012. Leaf-Level nitrogen use efficiency: definition and importance. *Ecology Science.* 169(3):591-597.
- Honghui, W., M. M. Dannen, N. Fanselow, B. Wolf, Z. Yao, X. Wu, N. Bruggemann, X. Zheng, X. Han, K. Dittert and K. B. Bach. 2011. Feedback of grazing on gross rates of N mineralization and inorganic N partitioning in steppe soil of inner Mongolia. *Plant Soil.* 340:127-139.
- Hoseney, R. C. 1991. *Principios de ciencia y tecnología de los cereales.* Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Huber, S. C.; J. L. Huber, Campbell, W. H. and M. G Redinbaugh. 1992. Comparative studies of the light modulation of nitrate reductase and sucrose phosphate synthase activities in spinach leaves. *Plant Physiology.* 100, 706-712.
- Hussain, A. and A. D. Boney. 1969. Isolation of kinetin - like substances from *Laminaria* and *Ascophyllum*. *New Phytol.* 72:403-410.
- INI 2011. *Criterios Técnicos para el Manejo de Trigo Candeal.* Folleto Técnico. http://www.sap.uchile.cl/descargas/libros/Criterios_tecnicos_para_manejo_de_trigo_candeal_2011.pdf (consultado 18/Marzo/2014).
- Jazme, V. M. y R. A. Rodriguez. 2008. Integración de microorganismos benéficos (Hongos micorrizicos y bacterias rizosféricas en Agrosistemas de las Islas Canarias). *Agroecología* 3:33-39.
- Jennings, R. C. 1969. Cytokinins as endogenous growth regulators in the algae *Ecklonia* (Phaeophyta) and *Hypnea* (Rhodophyta). *Aust. Journal. Biology Science.* 22:621-627.
- Junta Extremadura. 1992. Interpretación de análisis de suelo, foliar y aguas de riego; consejo abonado (normas básicas). Madrid, Mundi-Prensa 280p.
- Khaled, N., M. Hiba and C. Asma. 2012. Antioxidant y Antifungal activities of *Padina Pavonica* and *Sargassum Vulgare* from the libanese Mediterranean Coast. *Advances in Environmental Biology* 6(1):42-48.
- Khan, M., F. Anjm, I. Pasha, M. Shabbir, S. Hussain end M. Nadeem. 2012. Application of enzyme-linked immunosorbent assay for the asseement of spring wheat quality. *Food and Agricultural Immunology.* 23:11-15.

- Kakoli, B. R. Ghosh, S. Homechaudhuri and A. Mitra. 2009. Seasonal variation in the biochemical composition of red seaweed (*Catenella repens*) from Gangetic delta, northeast coast of India. *Earth System Science* 118(5): 497-505.
- Kaushik, B. D. and R. Prasana. 1998. Improved cyanobacterial biofertilizer production and N-saving in rice cultivation. *New Delhi. Sustainable Aquaculture* 4:145-155.
- Kirkman, H. and G. A. Kendrick. 1997. Ecological significance and commercial harvesting of drifting and beach cast macroalgae and seagrasses in Australia: A review: *Journal. Applied. Phycology.* 9:311-326.
- Kiuomars, R. G., W. K. Ng, E. Abdulation, A. Naser and A. Yusut. 2012. The effect of seaweed extracts as a supplement or alternative culture medium, on the growth rate and biochemical composition of the microalga, *Isochrysis galbana* (Park 1949). *Aquaculture Research* 43:1487-1498.
- Lehnhardt, C. P., S. D. Rodriguez, D. Bristot, H. H. Gaeta, D. de O. Toyamaya, W. R. Farias and M. H. Toyamaya. 2013. Evaluation of Macroalgae Sulfated Polysaccharides on the *Leishmania* (L) amazonensis Promastigote. *Marine Drugs* 11:934-943.
- Levin, L. A.; C. L. Thomas and K. Wisner. 1991. Control of deep sea benthic community Structure by oxygen and organic matter gradients in the eastern Pacific Ocean. *Journal of Marine Research* 49:763-800.
- Lynn, L. B. 1972. The chelating properties of seaweed extract *Ascophyllum nodosum* vs. *Macrocystis pyrifera* on the mineral nutrition of sweet peppers, *Capsicum annum*. M. S. Thesis, Clemson University. *Adv. Soil Science.* 2:133-171.
- Martínez, C. E., R. E. Espitia, M. E. Villaseñor., R. I Benitez., V. A Santacruz and B. J Peña. 2010. Diversidad genética de gluteninas y gliadinas en trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) Mexicanos. *Agrociencia* 44:187-195.
- Martinez, L. S., V. R. Vargas y L. M. J. Verde. 2000. Potencial Económico de la Flora Fisiológica Marina de Tamaulipas. Facultad de Ciencias Biológicas. UANL. México pp.1-90.
- Mayer, A. M., A. D. Rodriguez, R. G. Berlinck and N. Fusetani. 2011. Marine compounds with antibacterial activities; Affecting the immune and nervous system, and other miscellaneous mechanism of action. *Journal Pharmacology Toxicology.* 153:191-222.
- Meisner, C., A. E. Acevedo, D. Flores, K. Sayre, I. Ortiz-Monasterio and D. Byerlee. 1992. Wheat Special Report No. 6. Wheat Production and Grower Practices in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. 72p

- Meléndez, G. y G. Soto. 2003. Taller de abonos Orgánicos. Centro de Investigación Agronómicas de la Universidad de Costa Rica y la Camara de Insumos Agropecuaria No. 31. Costa Rica. 19 p.
- Metting , B., W.J. Zimmeman I. Crouch end J. van Standen. 1990. Agronomic uses of seaweed and microalgae En: Introduction to Applied Phycology. 589-627pp.
- Meyer, A., R. Grote, A. Polle, and K. Butterbach-Bahl. 2010. Simulating mycorrhiza contribution to forest C and N cycling the MYCOFOND model. *Plant Soil* 327:493-517.
- Miller, A. J. and S. J. Smith. 1996. Nitrate transport and compartmentation in cereal root cells. *Journal of Experimental Botany* 47:843-854.
- Mishra B.K.,R.K. Gupta 1995. Protocols for evaluation of wheat quality. Technical Bulletin 3, Directorate of Wheat Research, Karnal, India. p. 98.
- Mowat, J. A. 1964. Auxins and Gibellerins in marin algae. *Botánic Marina* 8:149-155.
- Ólafsson E., H. Modig and W. J. Bund Van Den. 1999. Sepecies Specific uptake of radio labelled phytodetritus by benthic meiofauna from the Baltic Sea *Marine Ecology* 177: 63-72.
- Ortiz-Monasterio, J. I. 2009. Manejo de nitrógeno en trigo. <http://www.cimmyt.org/es/component/content/article/207-mexico/313-manejo-de-nitrogeno-en-trigo>.(consulta 27 de abril del 2013).
- Pelczar, M. J. 1984. Microbiología. Editorial Mc. Graw-Hill. México. 379p.
- Peña R. J., R. Trethowan, W. H. Pfeiffer and M. Van Ginkel. 2002. Quality (end-use) improvement in Wheat: compositional, genetic, and environmental factors. In: Basra A.S., and Randhawa L. S (eds). *Quality improvement in field crops Food products press, an imprint of the Haworth press, Inc., pp.1-37.*
- Pereyra, M. C. 2001. Asimilación de Nitrogeno en Plantas. <http://exa.unne.edu.ar/biologia/Fisiologia.vegetal/Asimilación%20del20%nitrogeno.Pdf>. (Consultado el 26 de agosto del 2013).
- Raun, W. R. end G. V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal* 91:357-363.
- Roa A. C.S., Smith, J. J., Jandhyala, V. K., Papendick, R. I. and Parr J. F. 1993. Cultivar and climatic effects on protein content of soft White Winter wheat. *Agronomy Journal* 85:1023-1028.
- Rovira, A. D. 1973. Zones of exudation along plant roots and spatial distribution of microorganisms in the rhizosphere. *Soil Science* 4:361-366.

- Rueda P. E., A. B. Murill, M. J. Ponce, V. M. Cruz, J. L. Garcia, H. Santillano, R. L. Avendaño y D. E. Troyo. 2009. Los Biofertilizantes como una opción sustentable en la agricultura de zonas árido-salinos: *salicornia bigelovii* Un caso de estudio. XII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. ICA.-UABC p.27-32.
- SAS Institute Inc. 1995. User's Guide. Statics. Version 6 Fourth ed. SAS Inc. Cary North America, USA. 956 p.
- Scheible, W. R., R. Morcuende, T. Czechowski, C. Fritz, D. Osuna, N. Palacios-Rojas, D. Schin delasch, O. Thimm, M. K. Udvardi and M. Stitt. 2004. Genome-wide reprogramming of primary and secondary metabolism, protein synthesis, cellular growth processes, and the regulatory infrastructure of *Arabidopsis* in response to nitrogen. *Plant Physiology* 136:2483-2499.
- Seckbach, J. 2007. *Algae and cyanobacteria in extreme environments*. Springer, Secaucus. <http://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=FIpKICoSAYUC&oi=fnd&pg=alga+and+and+cya> (consultado el 25 de enero del 2014).
- Senn, T. L. 1987. *Seaweed and plant growth*. Faith Printing Company Taylor, South Carolina, 166 pp.
- Senn, T. L. and A. R. Kingman, 1978. *Seaweed research in crop production*. Economy. Development. Adm. US Dep. Commerce. Washington, 161 pp.
- Simmonds N. W. 1995. The relation between yield and protein in cereal grain. *Journal Food Agriculture* (67):309-315.
- Solis, M. E y T. J. Díaz de Leon. 2001. Efecto de los Factores controlables de la Producción sobre el rendimiento y panza blanca del grano de trigo duro. *Terra Latinoamericana* 19:004. 375-383.
- Staddon, P. L., C. B. Ramsey, N. Ostle, P. Ineson and A. H. Fitter. 2003. Rapid turnover of hyphae of mycorrhizal fungi determined by AMS microanalysis of C-14. *Science* 300:1138-1140.
- Stephenson, W. A. 1968. *Seaweed in agriculture and horticulture*. *Acta Agriculture Fenn.* 111:245-256.
- Stephenson, W. A. 1974. *Seaweed in agriculture and horticulture*. 3rd. edn. Bargyla and Glyver Rateaver, Pauma Valley, California, 241 pp.
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, and Reaction*. Wiley and Song: New York, USA. 512 p

- Toklu, F., D. S. Akgul, M. Bici and T. Karakoy. 2008. The Relationship between black point and fungi species and effects of black point on seed germination properties in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 32(4):267-272.
- Vallejos, H. R. y M. L. Álvarez. 2001. El pan nuestro de cada día. *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy*. Argentina. *Ciencia hoy*. Vol. II (62). <http://www.cienciahoy.org/hoy62/index.htm>.
- Van- der Heijden, M. G. A. Bardgett and N. M. Van Straalen. 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letter* 11:296-310.
- Vásquez, C. J. 2004. Distribución y abundancia de algas pardas en el área marina y costera protegida isla grande de Atacama, III región. <http://www.algaspardas.cl/geefalga.cl/geefalga.pdf>. (consultado el 20 de mayo del 2013).
- Vidal, N. A., M. Motidone, J. Mancini-Filho, A. Fallarero, M. M. Tanae, L. M. Brandao, y A. J. Lapa. 2001. Actividad antioxidante y ácidos fenólicos del alga marina *Bryothamniontriquetrum* (S.G.Melim) Howe. 37(3):373-382.
- Vivanco, J. M. 2013. Manejo de la Rizosfera, el mundo oculto de la productividad agrícola DIHP. INTAGRI. Celaya, México. <http://intagri.com.mx> (consultado el 15 de febrero del 2014).
- Wattal, D. D., R. Prasana y B. V. Singh. 2007. Comparative Performance of Three carrier Based Blue Green Algal biofertilizers for sustainable rice cultivation. *Journal of Sustainable Agriculture* 30(2): 41-50.
- Weegels, P. L., A. M. Van de Pijpekamp., A. Graveland, R. J. Hamer end J. D. Schofield. 1996. Depolymerisation and re-polymerisation of wheat glutenin during dough processing. I. Relationships between glutenin macropolymer content and quality parameters. *Journal of Cereal Science*. 23:103-111.
- Zancan S., R. Trevisan, end M. G. Paoletti. 2006. Soil Algae composition under different agro-ecosystems in Nort-Eastern Italy. *Agriculture Ecosyst Environ* 112:1-12

