

**FERTILIZACIÓN A BASE DE EXTRACTOS DE ALGAS MARINAS Y SU
RELACIÓN CON LA EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA Y DE LA LUZ DE
UNA PLANTACIÓN DE VID Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD DE FRUTOS**

GILDARDO MÉNDEZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial

Para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA
DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

Programa de graduados

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

FERTILIZACIÓN A BASE DE EXTRACTOS DE ALGAS MARINAS Y SU
RELACIÓN CON LA EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA Y DE LA LUZ DE
UNA PLANTACIÓN DE VID Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD DE FRUTOS

TESIS

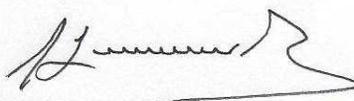
POR
GILDARDO MÉNDEZ LÓPEZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y
Aprobada como requisitos parcial, para optar al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

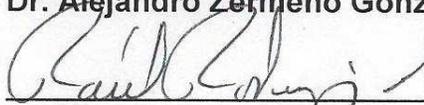
COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal:



Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor:



Dr. Raúl Rodríguez García

Asesor:



Dr. Martín Cadena Zapata

Asesor:

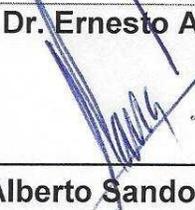


M.C. José Omar Cárdenas Palomo

Asesor:



Dr. Ernesto A. Catalán Valencia



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado

Saltillo, Coahuila, México, Diciembre, 2014.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme bendecido y guiado a lo largo de este camino del éxito y por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado durante mi formación como Maestro en Ciencias.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (mi Alma Mater) y al programa de posgrado en ingeniería de sistemas de producción.

A la Vinícola San Lorenzo de Parras de la fuente Coahuila México por darnos la oportunidad de realizar el trabajo de investigación en una de sus plantaciones de vid.

Mi entero agradecimiento y admiración a mi asesor principal, el Dr. Alejandro Zermeño González (Dr. A-Z), por su grandiosa amistad, su entrega y compromiso en las diferentes actividades de mi investigación. Su ánimo, apoyo y asesoramiento me ayudó a concluir con mi trabajo de maestría en ciencias en tiempo oportuno. También quiero expresar mi gratitud a los miembros de mi comité particular de asesoría al Dr. Raúl Rodríguez García, Dr. Martín Cadena Zapata, Dr. Ernesto A. Catalán Valencia, por el apoyo y revisión de mi trabajo escrito. Al MC José Omar Cárdenas Palomo le agradezco la confianza, apoyo, y dedicación de revisión de mi trabajo escrito. Al Dr. Javier de J Cortes Bracho por el apoyo y orientación recibida en el análisis estadístico de este trabajo.

A Lic. Minerva Zermeño Camarillo, Lic. Silvia Guerrero Martínez, Lic. María del Socorro Mireles Vázquez por su apoyo en los análisis de las muestras de agua y suelo.

Agradezco a mi primo Daniel Sánchez V. siempre estuvo acompañándome en momentos difíciles y compartiendo los momentos de alegría. A mi amigo Daily Vázquez M, por compartir momentos durante el camino del éxito.

DEDICATORIAS

A mis padres Evaristo Méndez Ramos y Floriselda López Cruz. Por ejemplo de superación y valioso apoyo en todo momento desde el inicio de mis estudios.

*A mi esposa Jazmín y mi hija Naomi Amheli.
Por ese optimismo que siempre me impulso a seguir adelante.*

A mis hermanos, Martha Isabel, Belisario, Amhelia Marina, Teresita y Ana Leticia Por su apoyo y entusiasmo en cada momento.

A mis sobrinos Daniel, Cesarin, Chabelita, Perlita y Dayana Que siempre están orgullosos de tener un tío como Yo.

COMPENDIO

FERTILIZACIÓN A BASE DE EXTRACTOS DE ALGAS MARINAS Y SU RELACIÓN CON LA EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA Y DE LA LUZ DE UNA PLANTACIÓN DE VID Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTOS

POR

GILDARDO MÉNDEZ LÓPEZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN

INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. DICIEMBRE 2014

DR ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ - ASESOR

Palabras clave: Algas marinas, biofertilizantes, eficiencia del uso del agua, eficiencia del uso de la luz, tasa de evapotranspiración, balance de energía, covarianza Eddy.

La aplicación de extractos de algas marinas como biofertilizantes al suelo y follaje ha mostrado incrementos en rendimiento y calidad de la cosecha de diversos cultivos. Por lo que los objetivos de este estudio fueron: Evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes formulados a base de extractos de algas marinas al suelo y follaje de una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz en las tasas de evapotranspiración y asimilación de CO₂, eficiencia del uso del

agua y de la luz y su relación con el rendimiento y calidad de frutos. Para esto se delimitaron dos plantaciones de vid cv Shiraz de 5.2 has, en la Vinícola, San Lorenzo, municipio de Parras, Coahuila, México. A una de estas dos secciones, al inicio del ciclo de producción (15 de marzo, 2013), se aplicó al suelo como biofertilizante 2 L ha⁻¹ de Algaenzims, 4 L ha⁻¹ de Turboenzims y 1 L ha⁻¹ de Algarrot. Posteriormente a la misma sección, el 3 de abril del mismo año se aplicaron vía biofertilización foliar 0.5 L ha⁻¹ de Algaenzims y de Frutoenzims y 1 L ha⁻¹ de Alzinc. El efecto de las aplicaciones mencionadas se evaluó instalando un sistema Eddy en cada una de las secciones (con y sin aplicación de biofertilizantes), para medir la tasa de asimilación de CO₂, tasa de evapotranspiración y el flujo de calor sensible, además de la radiación neta y el flujo de calor en la superficie del suelo para evaluar el cierre del balance de energía. También se midió la radiación fotosintéticamente activa absorbida por el dosel de cada plantación. Con base a la prueba de Wilcoxon ($\alpha \leq 0.01$), los resultados del estudio mostraron que la aplicación de biofertilizantes incrementó 7.72% la tasa de asimilación de CO₂, mientras que la tasa de evapotranspiración se redujo 6.48%. Esto resultó en un incremento de 15.3% de la eficiencia del uso del agua y 7.61% la eficiencia cuántica. El rendimiento de frutos aumentó 13.9% y el de grados brix 3.04% (Duncan, $\alpha \leq 0.05$) en la sección con aplicación de biofertilizantes.

ABSTRACT

BASED FERTILIZER SEAWEED EXTRACTS AND ITS RELATION TO WATER USE EFFICIENCY AND LIGHT VINE PLANTATION AND ITS EFFECT ON YIELD AND FRUIT QUALITY

BY

GILDARDO MÉNDEZ LÓPEZ

MASTER OF SCIENCE

PRODUCTION SYSTEMS ENGINEERING

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. DECEMBER, 2014**

DR ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ - ADVISOR

Key words: Seaweeds, biofertilization, water use efficiency, light use efficiency, evapotranspiration rate, energy balance, Eddy covariance.

The use of seaweed extracts as biofertilizers to the soil and foliage has shown increments of yield and harvest quality of diverse crops. Therefore, the objectives of this study where: Evaluate the effect of soil and foliar fertilization using biofertilizers formulated form seaweed extracts in a vid plantation, on the rates of evapotranspiration and CO₂ assimilation, efficiency of the use of water and light and its relation with the yield and fruits quality. For that, two sections of 5.2 h of a vid plantation of the Shiraz variety were selected in the Vinicola, San

Lorenzo of Parras, Coahuila, Mexico. On one of these sections, at the start of the crop growth cycle (March 15, 2013) 2 L ha⁻¹ of Algaeenzymes 4 L ha⁻¹ of Turboenzymes and 1 L ha⁻¹ de Algaeroot were applied to the soil as biofertilizers. Posteriorly on the same section, on April 3 of the same year, via foliar biofertilization 0.5 L ha⁻¹ of Algaeenzymes, and of Fruitenzymes and 1 L ha⁻¹ of Alzinc were applied. The effect of the soil and foliar biofertilization was evaluated by placing an eddy system in each sections (with and without biofertilization), to measure the assimilation rate of CO₂, evapotranspiration rate and sensible heat flux. Net radiation, soil surface heat flux were also measures to evaluate the energy balance closure. In addition, the canopy absorbed PAR was also obtained at each plantation. On the base of the Wilcoxon test ($\alpha \leq 0.01$), the results of the study showed that the applications biofertilization increased 7.72% the assimilation rate of CO₂, whereas the evapotranspiration rate decreased 6.48%. This resulted in an increase of 15.3% in the water use efficiency and 7.61% of the light use efficiency. The fruits yield was 13.9% higher and the brix grades 3.04% (Duncan, $\alpha \leq 0.05$) on the section with biofertilization.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIAS	IV
COMPENDIO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE CUADROS	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ALGAS MARINAS.....	4
2.2. EXTRACTOS DE ALGAS MARINAS Y SU USO EN LA AGRICULTURA.....	5
2.3. APLICACIÓN DE ALGAS MARINAS Y SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO DE CLOROFILA.....	7
2.4. ORIGEN Y CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL CULTIVO DE VID....	7
2.4.1. ORIGEN DE LA VID.....	7
2.4.2. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DE LA VID.....	8
2.5. PRODUCCIÓN DE VID A NIVEL MUNDIAL Y EN MÉXICO.....	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1. UBICACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.....	10
3.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO DEL SITIO DE ESTUDIO.....	10
3.3. MANEJO AGRONÓMICO DE LA PLANTACIÓN.....	11
3.4. TRATAMIENTOS APLICADOS.....	11
3.5. MEDICIONES REALIZADAS.....	12
3.6. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA QUÁNTICA Y USO DEL AGUA.....	17
3.7. RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTOS.....	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1. PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL SUELO DEL SITIO DE ESTUDIO.....	19
4.2. VARIACIÓN DIURNA DE LOS FLUJOS DE ENERGÍA.....	20
4.3. BALANCE DE ENERGÍA DE LOS FLUJOS SUPERFICIALES.....	25
4.4. TASA DE INTERCAMBIO NETO DE BIÓXIDO DE CARBONO Y DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LAS PLANTACIONES DE VID... ..	26
4.5. EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA.....	30
4.6. EFICIENCIA QUÁNTICA.....	31
4.7. RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO.....	34
V. CONCLUSIONES	37
VI. BIBLIOGRAFÍA	38

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Sensores de un sistema Eddy sobre una plantación de vid para medir los flujos de calor, vapor de agua y bióxido de carbono entre el dosel de la plantación y la atmosfera circundante.....14
- Figura 2. Ubicación de los sensores de medición en la parte media del extremo oeste de cada sección (con y sin aplicación de biofertilizantes), donde los vientos dominantes provienen del este15
- Figura 3. Variación diurna (8:00 a 19:00 h) de la radiación neta (Rn), flujo de calor latente (LE) y sensible (H), y flujo de calor en la superficie del suelo (G) sobre una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz, observada entre el 1 de mayo y el 19 de junio de 2013, bajo condiciones de cielo despejado sin (control) y con (tratamiento) aplicación de biofertilizantes. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.....23
- Figura 4. Variación diurna (8:00 a 19:00 h) de la radiación neta (Rn), flujo de calor latente (LE) y sensible (H), y flujo de calor en la superficie del suelo (G) sobre una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz, observada entre el 12 de mayo y el 23 de junio de 2013, bajo condiciones de cielo nublado sin (control) y con (tratamiento) aplicación de biofertilizantes. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.....24
- Figura 5. Relación entre la energía disponible (Rn-G) y la suma de los flujos por turbulencia (H+LE), promedios de 30 min sobre una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz, con (tratamiento) y sin (control) aplicación de biofertilizantes. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.....26
- Figura 6. Rendimiento promedio de frutos por planta con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes en una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz, en el ciclo de producción 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....35
- Figura 7. Grados brix de los frutos con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes en una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz, en el ciclo de producción 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo de cada una de las plantaciones con (tratamiento) y sin (control) aplicación de biofertilizantes.....	19
Cuadro 2. Propiedades físicas del suelo de cada una de las plantaciones con (tratamiento) y sin (control) aplicación de biofertilizantes.....	20
Cuadro 3. Tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) promedio diaria mensual (8:00 a 19:00 h) observada de abril a septiembre de 2013 en una plantación de vid (<i>Vitis vinífera</i>) cv Shiraz con (Tratamiento) y sin (control) aplicación de biofertilizantes.....	28
Cuadro 4. Tasa de evapotranspiración (ET) promedio diaria mensual (8:00 a 19:00 h) observada de abril a septiembre de 2013 en una plantación de vid (<i>Vitis vinífera</i>) cv Shiraz con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes.....	29
Cuadro 5. Eficiencia del uso del agua (EUA) promedio diaria mensual (8:00 a 19:00 h) observada de abril a septiembre de 2013 en una plantación de vid (<i>Vitis vinífera</i>) cv Shiraz con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes.....	31
Cuadro 6. Radiación fotosintéticamente activa absorbida promedio diaria mensual (PAR) de abril a septiembre de 2013 en una plantación de vid (<i>Vitis vinífera</i>) cv Shiraz con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes.....	32
Cuadro 7. Eficiencia cuántica promedio diaria mensual (8:00 a 19:00 h) observada de abril a septiembre de 2013 en una plantación de vid (<i>Vitis vinífera</i>) cv Shiraz con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes.....	33

I. INTRODUCCIÓN

Los biofertilizantes a base de extractos de algas marinas, son materiales bioactivos naturales solubles en agua, son fertilizantes orgánicos naturales que promueve la germinación de semillas y que incrementa el desarrollo y rendimiento de cultivos (Norrie y Keathley, 2005). Los extractos de algas marinas se utilizan como suplementos nutricionales, bioestimulantes o biofertilizantes en la agricultura y horticultura (Hernández-Herrera *et al.*, 2014). En los últimos años, el uso de extractos de algas marinas como biofertilizantes ha permitido la sustitución parcial de fertilizantes minerales convencionales (Dhargalkar y Pereira, 2005; Khan *et al.*, 2009; Sathya *et al.*, 2010; Zodape *et al.*, 2010). Estos se pueden utilizar como extractos líquidos aplicados en forma foliar, al suelo, o en forma granular (polvo) como mejoradores del suelo y abono (Lingakumar *et al.*, 2004; Thirumaran *et al.*, 2009).

Los extractos de algas marinas contienen una amplia variedad de sustancias promotoras del crecimiento de plantas tales como auxinas, citoquininas, betainas, giberelinas y sustancias orgánicas como aminoácidos, macronutrientes y oligoelementos que mejoran el rendimiento y calidad de los cultivos (Abdel-Maguid *et al.*, 2004; Eman *et al.*, 2008; Khan *et al.*, 2009; Sathya *et al.*, 2010).

Se ha observado que la aplicación de algas marinas al suelo y al follaje, induce una mayor absorción de nutrientes, se incrementa el contenido de clorofila, el tamaño de las hojas, que resultan en un mayor rendimiento y calidad de las cosechas (Spinelli *et al.*, 2009; Thirumaran *et al.*, 2009; Sunarpi *et al.*, 2010; Bai *et al.*, 2011; Kumari *et al.*, 2011; Rayma *et al.*, 2011; Hernández-Herrera *et al.*, 2014).

La vid (*Vitis vinífera* L.) es un cultivo predominante del hemisferio norte. Su importancia económica se debe al fruto, la uva, una de las principales características de dicho cultivo radica en la diversificación de los mercados: consumo en fresco (principalmente en el mercado nacional); la industria juguera y, sobre todo, la industria vitivinícola. Esta última es la de mayor oportunidad de crecimiento a corto plazo, debido a la demanda existente tanto a nivel nacional como internacional del vino de mesa (El Economista, 2013). En México, la producción de vid se concentra sólo en cinco entidades que reportan anualmente 98.2% del total del volumen de producción. Los estados con mayor producción son: Sonora, Zacatecas, Baja California, Aguascalientes y Coahuila (El Economista, 2013).

El cultivo de vid se produce principalmente en los estados del Norte de México, donde el agua es el recurso más importante y limitante para la agricultura. Por lo que es indispensable hacer un uso eficiente del agua y de la luz por el cultivo para obtener los rendimientos mayores con los recursos disponibles y los insumos aplicados. La eficiencia de uso del agua (EUA) es un índice que relaciona la cantidad de biomasa acumulada por unidad de volumen

de agua evapotranspirado por una superficie vegetal (Medrano *et al.*, 2007; Tong *et al.*, 2014). A escala foliar, la eficiencia intrínseca del uso del agua representa el número de moles de CO₂ asimilado por mol de agua transpirada. La eficiencia intrínseca del uso del agua de una superficie vegetal es mayor al reducirse la tasa de evapotranspiración o al aumentar la asimilación de CO₂ (Medrano *et al.*, 2007). La eficiencia del uso del agua es un índice importante en el mejoramiento genético de plantas para evaluar el rendimiento de cultivos por unidad de agua utilizada bajo condiciones de secano (Blum *et al.*, 2009; Spann y Little, 2011). Mientras que la eficiencia del uso de la luz, es un índice que relaciona la tasa de asimilación de bióxido de carbono (CO₂) por unidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR) absorbida por el dosel de las plantas (Coops *et al.*, 2010; Schull *et al.*, 2013). Este índice, es un indicador importante para estimar la productividad de los cultivos y la capacidad de asimilación de carbono de un ecosistema vegetal. (Jenkins *et al.*, 2007).

Dado que la aplicación de fertilizantes orgánicos derivados de algas marinas, incrementa el vigor y contenido de clorofila de las hojas, este efecto se debe reflejar en una mayor tasa de asimilación de bióxido de carbono, por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes formulados a base de extractos de algas marinas en la tasa de evapotranspiración, tasa de fotosíntesis del dosel, eficiencia del uso del agua y de la luz y su relación con el rendimiento y calidad de frutos de una plantación de vid cv Shiraz.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Característica de las algas marinas

Las algas marinas son plantas talofitas (organismo que carecen de raíz, tallo, hojas), unicelulares o pluricelulares, que viven preferentemente en el agua, tanto dulce como marina, y que en general están provistas de clorofila, acompañada en ocasiones de otros pigmentos de colores variados que enmascaran a esta; el talo de las algas pluricelulares tiene forma de filamento, de cinta o de lámina y puede ser ramificado (Robledo, 1997).

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

La mayoría de las algas marinas son capaces de elaborar sustancias orgánicas a partir del dióxido de carbono (CO_2) y de sustancias inorgánicas disueltas en el agua. Este proceso denominado fotosíntesis, se cumple a través de la clorofila, un pigmento verde presente en las células, que actúa transformando la energía luminosa en energía química. Las sales y otras sustancias nutritivas pueden ingresar por cualquier punto de su cuerpo. A

diferencia de las plantas terrestres, no poseen tejidos de conducción ni de sostén. Se mantienen erguidas porque al desarrollarse en el agua la gravedad no actúa sobre ellas (Abowei y Ezekiel, 2013).

Las algas marinas taxonómicamente se clasifican en tres grupos basados en su color: Verdes (*Chlorophyceae*), pardas (*Phaeophyceae*), y rojas (*Rhodophyceae*) ya que presentan pigmentos que predominan como clorofilas, carotenoides y ficobilinas (Erulan *et al.*, 2009; Quitral *et al.*, 2012).

Las algas marinas son uno de los más importantes recursos marinos del mundo y se utilizan como alimento para ganado, consumo humano, materias primas para muchas industrias, fertilizantes agrícolas y como una fuente de ficocoloides tales como agar, ácido alginico y carragenina (Sathya *et al.*, 2010).

2.2 Extractos de algas marinas y su uso en la agricultura

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

Tradicionalmente, las comunidades costeras de todo el mundo han estado utilizando algas como enmienda del suelo. El efecto del fertilizante de algas compostado es dependiente de su composición, patrón de mineralización bioquímica y la sincronización de los nutrientes con la demanda de los cultivos.

Las algas son disponibles comercialmente, y son consideradas como un recurso para la agricultura ecológica (Craigie, 2010; Rebours *et al.*, 2014).

El incremento en los rendimientos y la buena calidad de los frutos como efecto del uso de las algas marinas y o sus derivados en la agricultura, se debe a que las algas marinas contienen: todos los elementos mayores, todos los elementos menores y todos los elementos traza que ocurren en las plantas; además 27 sustancias naturales reportadas hasta ahora cuyos efectos son similares a los de los reguladores de crecimiento de las plantas; vitaminas, carbohidratos, proteínas, sustancias biocidas que actúan contra algunas plagas y enfermedades, y agentes quelatantes como ácidos orgánicos y manitol (Metting *et al.*, 1990; Crouch y Van Staden, 1993; Canales-López, 2000).

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

2.3 Aplicación de algas marinas y su relación con el contenido de clorofila

Estudios previos mencionan que la aplicación de extracto de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) incrementó el contenido de clorofila en las hojas de vid (*Vitis vinífera*) resultando en un mayor rendimiento y calidad de los frutos del cultivo (Sabir *et al.*, 2014).

Selvam y Sivakumar (2014) mencionan que la aplicación por pulverización foliar de extractos líquidos de algas marinas rojas (*Hypnea musciformis*, Wulfen) Lamouroux (*H. musciformis*) a una concentración del 2% maximizan el crecimiento y rendimiento del cultivo de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.), así como aumentan el contenido en clorofila en las hojas.

2.4 Origen y clasificación botánica del cultivo de vid

2.4.1 Origen de la vid

La vid (*Vitis vinífera*) es una planta originaria de Asia menor del sur del Cáucaso, parte de Rusia, Irán y la India. La vid fue traída a América por Cristóbal Colon durante su segundo viaje (en México existían algunas especies silvestres pero no de gran calidad); sin embargo, su cultivo se dio hasta 1524, injertando especies europeas a las especies nativas. El género *Vitis* comprende aproximadamente 65 especies de arbustos o parras caducifolias, reptantes o trepadoras, de la familia de las vitáceas. (Columela, 2011).

2.4.2 Clasificación botánica de la vid

Taxonómicamente la vid está situada en la más importante agrupación del reino vegetal (Columela, 2011).

Las Cormofitas (plantas con raíz, tallo y hoja, autótrofas con clorofila y reproducción constante sexual además de la vegetación).

Tipo fanerógama o espermafita (plantas con flores y semillas)

Subtipo angiospermas (plantas con semillas cerradas en un ovario).

Clase dicotiledóneas (con dos hojas embrionarias en la base de la plántula).

Orden ramnales (plantas leñosas con un solo ciclo de estambres situados delante de los pétalos).

Familia vitáceas (flores con corola de pétalos soldados superiormente y de prefloración valvar, con cáliz poco desarrollados, gineceo generalmente bicarpelar y bilocular, con fruto en baya).

Genero vitis (con flores exclusivamente dioicas en las especies silvestres, y hermafroditas o unisexuales en las cultivadas).

2.5 Producción de vid a nivel mundial y en México

La uva a nivel internacional es uno de los productos que ha demostrado un importante crecimiento en su producción en las últimas décadas. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en

inglés) ha agrupado a los principales países productores de uva en dos grandes zonas: La Norte, la cual está integrada por Francia, Grecia, Italia, Japón, México, España, Turquía y EEUU; y la Sur conformada por Argentina, Chile y Sudáfrica. De estos países productores seis de ellos concentran cerca del 90% de la producción: Turquía, Italia, Chile, Estados Unidos, España y Grecia (FOCIR, 2005).

En México, la producción de vid se concentra sólo en cinco entidades, que se caracterizan principalmente por sus diferencias de clima y suelo, reportan anualmente el 98.2% del total del volumen de producción, tal es el caso de Sonora, Zacatecas, Baja California, Aguascalientes y Coahuila. (El Economista, 2013).

La principal importancia económica de la vid (*Vitis vinífera*) se debe al fruto la uva, para la distribución y venta del producto en fresco principalmente al mercado nacional; la industria juguera y, sobre todo, la industria vitivinícola. Esta última es la de mayor oportunidad de crecimiento en el corto plazo, debido a la demanda existente tanto a nivel nacional como internacional del vino de uva. (El Economista, 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del sitio de estudio

El estudio se realizó en la Vinícola San Lorenzo ubicado en Parras de la Fuente, Coahuila, México. Las coordenadas geográficas son 30° 30' 0.33" N, 102° 11' 31.9" O y una elevación de 1505 msnm. Con un clima en la región seco semiárido con temperatura media de 14 a 18 °C con régimen de lluvia en los meses de abril a octubre y precipitación promedio anual de 366 mm. Los vientos predominantes en esta localidad provenientes del Este todo el año.

El trabajo se estableció en dos plantaciones de vid cv Shiraz de aproximadamente 5.2 ha, (204 m en la dirección E-O, por 256 m dirección N-S). La plantación es de siete años de edad y una altura de 2 m en su máximo desarrollo foliar. Las plantas están en un marco de plantación de 1.5 m entre plantas y 2.5 m entre hileras, con una densidad de 2 620 plantas por hectárea.

3.2 Propiedades físicas y químicas del suelo del sitio de estudio

Las características físicas y químicas del suelo se obtuvieron del promedio de 5 muestras de la parte central de cada una de las plantaciones (con y sin aplicación de biofertilizantes). Las propiedades químicas determinadas fueron: pH, CE, contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y carbonatos totales. Mientras que las propiedades físicas fueron: contenido de

materia orgánica, arcilla, limo, arena, clasificación textural, densidad bruta (aparente) del suelo, densidad de partículas. La densidad bruta (aparente) se determinó por el método del cilindro utilizando una barrena de corazones, mientras que la densidad de partículas se obtuvo con el método del picnómetro. La porosidad del suelo se determinó con los valores de densidad bruta y la densidad de partículas.

3.3 Manejo agronómico de la plantación

La plantación se riega con un sistema de riego por goteo (0.75 m entre emisores), aplicando un gasto de 2.1 L h⁻¹. El tiempo de riego a través del ciclo del cultivo es de 2 h diarias, que para una cama de mojado de 0.80 m corresponde a una lámina diaria de 7 mm. Cada superficie recibió el mismo manejo del cultivo (poda, riego, fertilización y control fitosanitario) de acuerdo con las normas establecidas por la Vinícola San Lorenzo.

3.4 Tratamientos aplicados

El 15 de marzo de 2013, a una de las secciones (lado Oeste) se le aplicó al suelo 2 L ha⁻¹ de Algaenzims, 4 L ha⁻¹ de Turboenzims y 1 L ha⁻¹ de Algarrot. Posteriormente a la misma sección, el 3 de abril del mismo año se aplicaron vía foliar 0.5 L ha⁻¹ de Algaenzims y de Frutoenzims y 1 L ha⁻¹ de Alzinc.

Algaenzims es un fertilizante orgánico, mejorador de suelo, elaborado a base de extractos de algas marinas (*Sargassum spp.*). Contiene un complejo de microorganismos marinos de vida libre en estado viable (vivos): Fijadores de

nitrógeno del aire, halófilos, mohos y levaduras, grupo aeróbico mesofílico, *microalgas cianofitas*.

Turboenzims es un complejo nutrimental de aplicación al suelo formulado a partir de extractos de algas marinas (*Sargassum spp.*) y plantas desérticas (*Larrea tridentada*, *Agave spp.*), con promotores de crecimiento naturales (auxinas, citocininas, giberelinas, ácido salicílico y betaina, entre otros). Con adición de elementos mayores (4.0 % N, 15.0% P y 1.2% K).

Algarrot es un regulador de crecimiento natural de aplicación al suelo y foliar que contiene giberelinas, citocininas y auxinas naturales contenidas como parte inherente de los extractos de algas marinas (*Sargassum spp.*) gobernadora (*Larrea tridentada*) y agave (*Agave spp.*).

Frutoenzims es un regulador de crecimiento natural de aplicación foliar, elaborado de extractos de algas marinas (*Sargassum spp.*) y plantas desérticas (*Larrea tridentada*, *Agave spp.*) que contiene, 4.0% N, 2.0% P, 9.24% K, 0.30% Ca, 0.06% Mg, 0.971% S, 0.30% B y 0.34% Mo, además de citocininas.

Alzinc es un biofertilizante de aplicación foliar que contiene reguladores de crecimiento de origen marino como auxinas, giberelinas, citocininas, además de elementos nutricionales menores como zinc (10.0%) y boro (0.50%).

3.5 Mediciones realizadas

Para determinar la eficiencia del uso de la luz y del agua por el dosel del cultivo de cada sección se determinó el flujo de calor latente y asimilación de

CO₂ por el dosel de cada plantación de vid además del flujo de calor sensible. Para esto se instaló en cada sección un sistema Eddy con los sensores correspondientes (Figura 1). Las mediciones de flujo de calor sensible (H), calor latente (LE) y flujo de CO₂ (FCO₂) entre el dosel de la plantación y la atmosfera se obtuvieron aplicando el método de la covarianza Eddy (Ham y Heilman, 2003). De acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$H = \rho_a C_p \overline{w'Ts'} - 0.51 Ta \frac{\rho_a C_p}{L} LE \quad (1)$$

$$LE = \overline{Lw'\rho_{wv}'} \quad (2)$$

$$FCO_2 = \overline{w'\rho_{co_2}'} \quad (3)$$

Dónde: ρ_a , C_p y Ta son la densidad, capacidad calorífica y temperatura del aire, respectivamente, Ts es la temperatura sónica, ρ_{wv} es la densidad del vapor de agua en el aire, w es la velocidad vertical del viento, L es el calor de vaporización del agua y ρ_{co_2} es la densidad de bióxido de carbono. Las variables con símbolo de prima significan desviaciones respecto a la media y la barra horizontal sobre dos variables denota la covarianza entre las variables para un determinado segmento de tiempo (30 min).



Figura 1. Sensores de un sistema Eddy sobre una plantación de vid para medir los flujos de calor, vapor de agua y bióxido de carbono entre el dosel de la plantación y la atmosfera circundante.

La velocidad vertical del viento y la temperatura sónica se midieron con un anemómetro sónico tridimensional (CSI-CSAT3, Campbell, Scientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU.); para obtener ρ_{wv} y p_{CO_2} se usó un analizador infrarrojo de bióxido de carbono y vapor de agua de sendero abierto (Open Path CO₂/H₂O analyzer, LI-7500. LI-COR, Lincon, Nebraska, EE.UU.). La temperatura del aire (T_a) se midió a la misma altura que T_s , con un sensor de temperatura y humedad relativa (HP45C, Vaisala, Inc., Woburn, MA, EE.UU.). Los sensores se montaron en un poste a 3 m de altura (1.2 m sobre el dosel de la vegetación), instalado en la parte media del extremo Oeste de cada plantación (Figura 2).

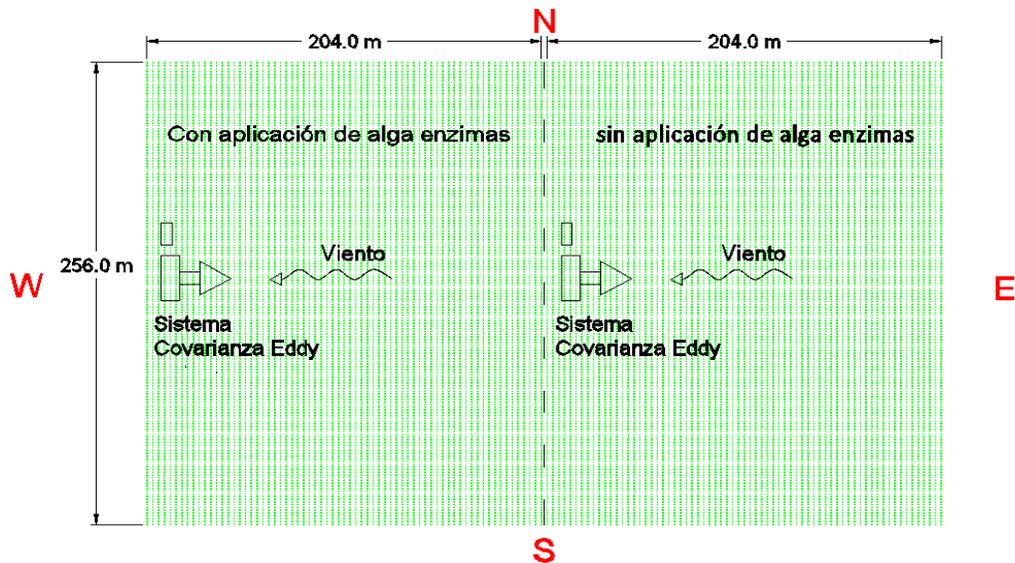


Figura 2. Ubicación de los sensores de medición en la parte media del extremo oeste de cada sección (con y sin aplicación de biofertilizantes), donde los vientos dominantes provienen del este.

El anemómetro sónico tridimensional se orientó hacia el Este, para lograr que el viento tuviera por lo menos 200 m de contacto con la superficie vegetal en la dirección Este-Oeste y 125 m en la dirección norte-sur, antes del contacto con los sensores. Los vientos provenientes del Oeste no se consideraron en las determinaciones de los flujos. La velocidad vertical del viento, temperatura sónica, temperatura del aire, densidad de vapor de agua y del bióxido de carbono se midieron a una frecuencia de 10 Hz, y las covarianzas correspondientes se calcularon cada 30 min con un datalogger CR1000 (Campbell, Cientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU.).

Para evaluar la precisión de las mediciones de los flujos descritos se determinó el balance de energía sobre la superficie vegetal (Zermeño-González, 2007) con la siguiente relación:

$$R_n = H + LE + G \quad (4)$$

Dónde: R_n es la radiación neta, H es el flujo de calor sensible, LE es el flujo de calor latente (del que se deriva la tasa de evapotranspiración), G es el flujo de calor en la superficie del suelo, las unidades de todas las variables son $W\ m^{-2}$. La R_n se midió con un radiómetro neto (LITE, Keep and Zonen, Inc., Delft, Holanda) colocado a 1 m sobre el dosel de cada plantación, G se midió con dos transductores de calor (modelo HFT3, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU.). Colocados a 0.08 m bajo la superficie del suelo, uno bajo planta y el otro al punto medio de un pasillo.

H y LE se corrigieron por efecto de diferencia de densidad entre las masas de aire ascendentes y descendentes (Webb *et al.*, 1980). El flujo de CO_2 se corrigió con el mismo factor (Ham y Heilman, 2003). La lámina de agua evapotranspirada en un determinado intervalo de tiempo se obtuvo dividiendo el valor de LE integrado en dicho tiempo por el calor de vaporización del agua ($2.44\ MJ\ Kg^{-1}$).

El intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) entre el dosel de la plantación de vid y la atmosfera ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}s^{-1}$) se obtuvo de la siguiente ecuación (Materns *et al.*, 2004):

$$NEE = F_{CO_2} + \frac{\Delta\rho_{CO_2}}{\Delta t} * \Delta Z \quad (5)$$

Dónde: FCO_2 es el flujo de bióxido de carbono medido con el método de la covarianza Eddy (negativo hacia la superficie vegetal), $\Delta\rho CO_2$ es el cambio en la densidad de CO_2 medido a la altura Δz , Δt es el intervalo de tiempo (30 min), Δz es la altura sobre la superficie del suelo a la que se realizan las mediciones de flujo (3 m).

3.6 Determinación de la eficiencia cuántica y uso del agua

La eficiencia cuántica ($Ef_{\text{cuántica}}$) y del uso del agua (Ef_{H_2O}) de cada plantación se obtuvo con las siguientes relaciones (Zermeño-González *et al.*, 2011):

$$Ef_{\text{cuántica}} = \frac{NEE}{PAR} \quad (6)$$

$$Ef_{H_2O} = \frac{NEE}{TasaET} \quad (7)$$

Dónde: PAR es la radiación fotosintéticamente activa absorbida por el dosel de la plantación ($\mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$), que corresponde a la diferencia entre la PAR incidente y la PAR reflejada por el dosel de las plantas. TasaET es la tasa de evapotranspiración del dosel ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$). La PAR incidente y reflejada se midió con dos sensores quantum (Apogee Instruments, Logan, Utah, EE.UU) colocados a 1.2 m sobre el dosel del cultivo, uno orientado hacia el cenit y el otro hacia la superficie vegetal. Estos sensores se conectaron a un datalogger CR-1000 para realizar mediciones a una frecuencia de 1 Hz y promedios de 30 min.

Las diferencias en la tasa de fotosíntesis y transpiración entre las plantaciones (con y sin aplicación de biofertilizantes) a través del ciclo de crecimiento de las plantas se evaluaron aplicando la prueba no paramétrica de Wilcoxon para poblaciones dependientes.

3.7 Rendimiento y Calidad de frutos

El efecto de la aplicación de biofertilizantes en el rendimiento de fruto se evaluó con un diseño estadístico completamente al azar con dos tratamientos (con y sin aplicación de biofertilizantes) y nueve repeticiones, donde cada planta representó una unidad experimental. La calidad de frutos se determinó midiendo los grados brix de los frutos. Para esto también se usó un diseño estadístico completamente al azar con dos tratamientos (con y sin aplicación de biofertilizantes) y 10 repeticiones por tratamiento, donde la unidad experimental correspondió al jugo de 40 frutos procedentes de los racimos de cada una de las 9 plantas de cada tratamiento. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Duncan ($\alpha \leq 0.05$).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades químicas y físicas del suelo del sitio de estudio

El suelo de ambas plantaciones se clasifica como moderadamente alcalino, con bajo contenido de sales, moderado contenido de nitrógeno, bajo contenido de fósforo, calcio y carbonatos totales (Cuadro 1). Los contenidos de potasio y carbonatos totales fueron 24.72% y 10.25 % respectivamente mayores que los de la sección con tratamiento (aplicación de biofertilizantes). El resto de las propiedades químicas evaluados fueron muy similares en ambas plantaciones

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo de cada una de las plantaciones con (tratamiento) y sin (control) aplicación de biofertilizantes.

Plantación	pH	CE (ds/m)	Nitrógeno (%)	Fosforo (Kg/ha)	Potasio (Kg/ha)	Carbonatos totales (%)
Tratamiento	8.39	0.99	0.122	66.26	427.95	41.13
Control	8.49	0.99	0.118	66.75	568.50	45.83

La materia orgánica de ambas plantaciones fue de contenido moderado y muy similar. El contenido de arcilla en la plantación control fue 38.31% mayor al de la plantación con tratamiento. La densidad de partículas fue muy similar,

pero la densidad bruta del suelo fue 14.29% mayor en la sección control, que resulto en 25.78% mayor contenido de poros (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades físicas del suelo de cada una de las plantaciones con (tratamiento) y sin (control) aplicación de biofertilizantes.

Plantación	M.O. (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	clasificación textural	Densidad bruta (g/cm ³)	Densidad de partículas (g/cm ³)	Porosidad (%)
Tratamiento	2.09	38.27	30.67	31.07	Franco - arcilloso	1.44	2.075	0.424
Control	2.06	52.93	25.33	21.73	Arcilloso	1.26	2.048	0.496

4.2 Variación diurna de los flujos de energía

La variación diurna de los flujos de energía: radiación neta (Rn), flujo de calor latente (LE) y sensible (H) y flujo de calor en el suelo (G), para condiciones de cielo despejado fue similar en la sección sin (control) y con (tratamiento) aplicación de biofertilizantes (Figura 3). En promedio y en ambas secciones Rn se disipó principalmente en LE (60%), seguido por G (23%) y H (11%). Resultados similares se han reportado para diferentes cultivos agrícolas bajo condiciones de riego y diferentes ecosistemas naturales en condiciones de humedad (Hao *et al.* 2008; Hammerle *et al.* 2008). Nótese que la radiación neta fue ligeramente mayor en la sección control, lo que probablemente se debió a una menor temperatura de la superficie (suelo-vegetación) debido a una mayor retención de agua del suelo por una mayor porosidad (Cerisola *et al.* 2005; Cueto *et al.* 2008). (Cuadro 2).

Para condiciones de cielo con nubosidad intermitente, el patrón de distribución de los flujos de energía mostró una trayectoria muy irregular a través del día (Figura 4). Sin embargo, se observó que la disipación de la radiación neta en flujo de calor latente (LE), sensible (H) y flujo de calor en el suelo (G) fue similar a la observada para condiciones de cielo despejado. Nótese que las variaciones de LE, G y H a través del día siguen los cambios en R_n . Para condiciones de cielo totalmente nublado (12 de mayo de la Figura 4) en promedio y en ambas secciones, el 52% de R_n se disipó en LE, 40% en H y 1% en G. Mientras que para condiciones de cielo con nubosidad intermitente (18 de mayo y 23 de junio, Figura 4), en promedio el 63% de R_n se disipó en LE, 21% en H y 11% en G. Los resultados anteriores indicaron una relación directa entre el grado de nubosidad y la disipación de la radiación en flujo de calor sensible (H), debido a una reducción en el flujo de calor latente (LE) por un menor déficit de presión de vapor, resultado de una mayor nubosidad. Shurpali (2013) mencionan que para un cultivo bioenergético (*Phalaris arundinaceae*, L.) el flujo de calor latente (LE) fue mayor y el de calor sensible menor (H) bajo condiciones de alta conductancia de la superficie vegetal (gs), mientras que bajo condiciones de estrés, por bajo contenido de humedad en el suelo y alta incidencia de radiación solar, la demanda evaporativa de la atmósfera fue mayor, pero LE fue menor y H aumentó.

Para condiciones de cielo totalmente despejado y con nubosidad intermitente, se observó que a partir de las 18:00 h y en ambas secciones, el flujo de calor latente fue mayor que la radiación neta, indicando la presencia de

un flujo advectivo (Berengena and Gavilán, 2005; Tolk *et al.* 2006; Kochendorfer and Paw, 2011). Resultados similares han sido reportados en diferentes tipos de superficies agrícolas bajo riego en las zonas áridas (Jiyane y Zermeño-González, 2003; Li and Yu, 2007; Zermeño-González *et al.* 2010).

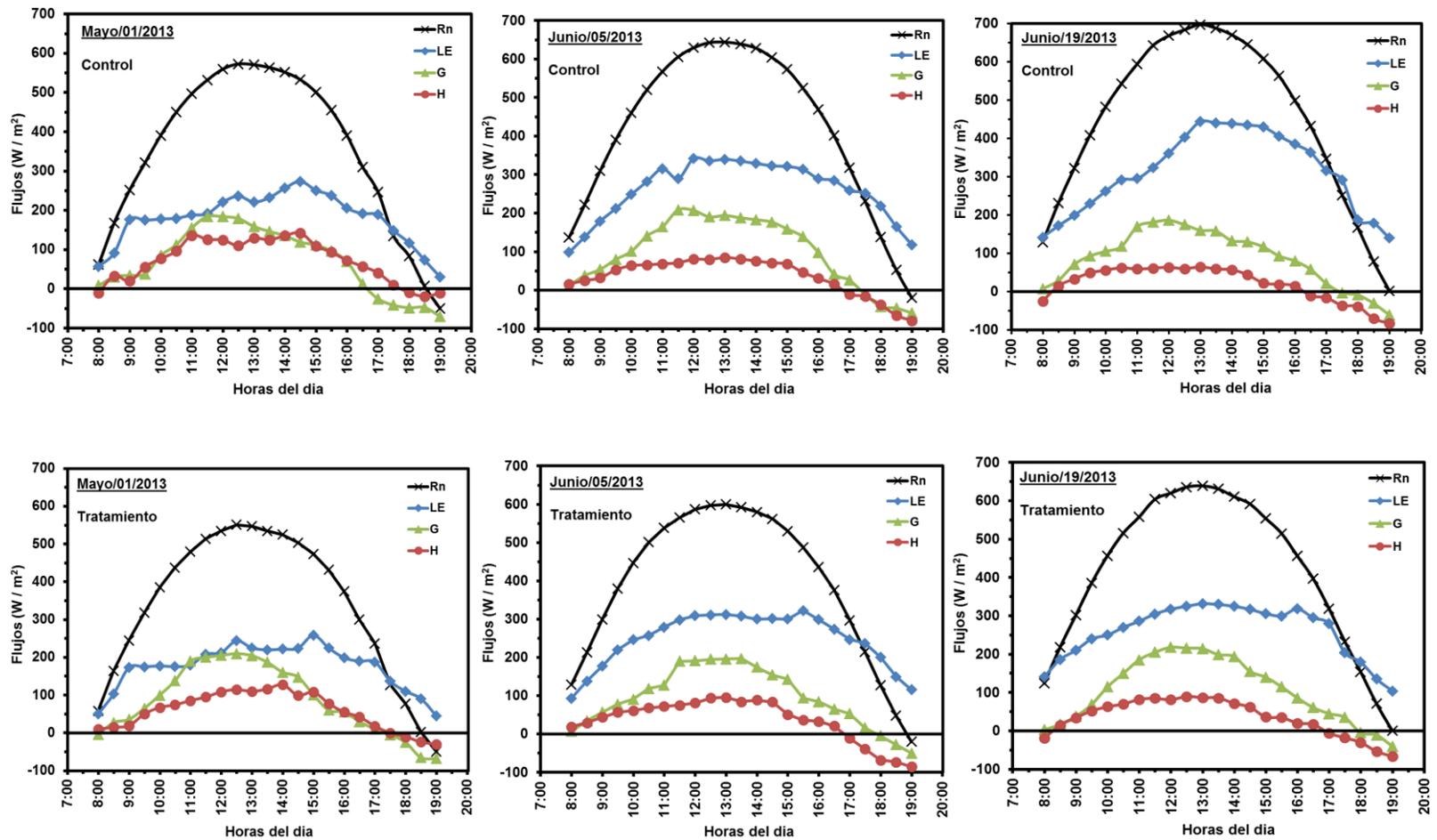


Figura 3. Variación diurna (8:00 a 19:00 h) de la radiación neta (Rn), flujo de calor latente (LE) y sensible (H), y flujo de calor en la superficie del suelo (G) sobre una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz, observada entre el 1 de mayo y el 19 de junio de 2013, bajo condiciones de cielo despejado sin (control) y con (tratamiento) aplicación de biofertilizantes. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

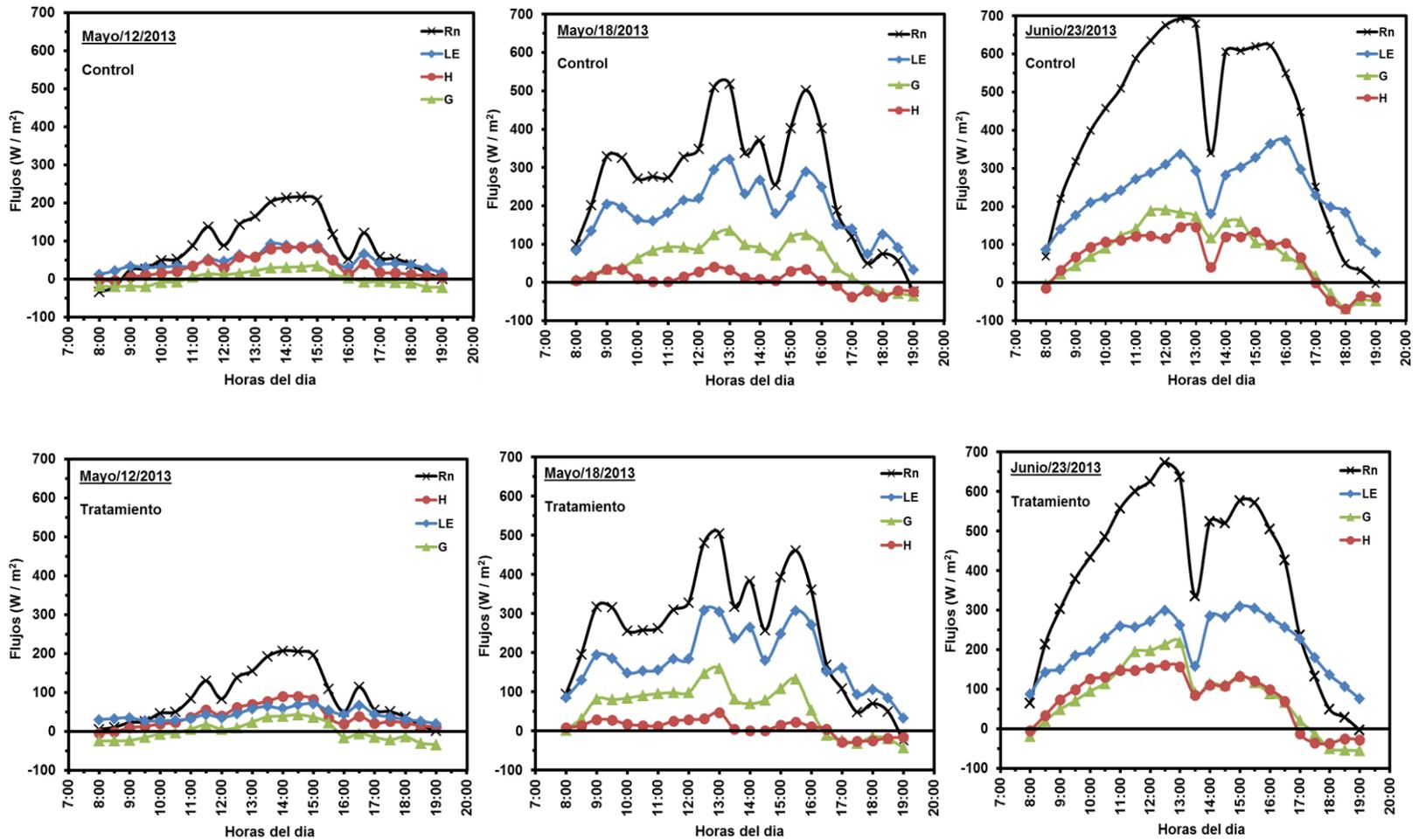
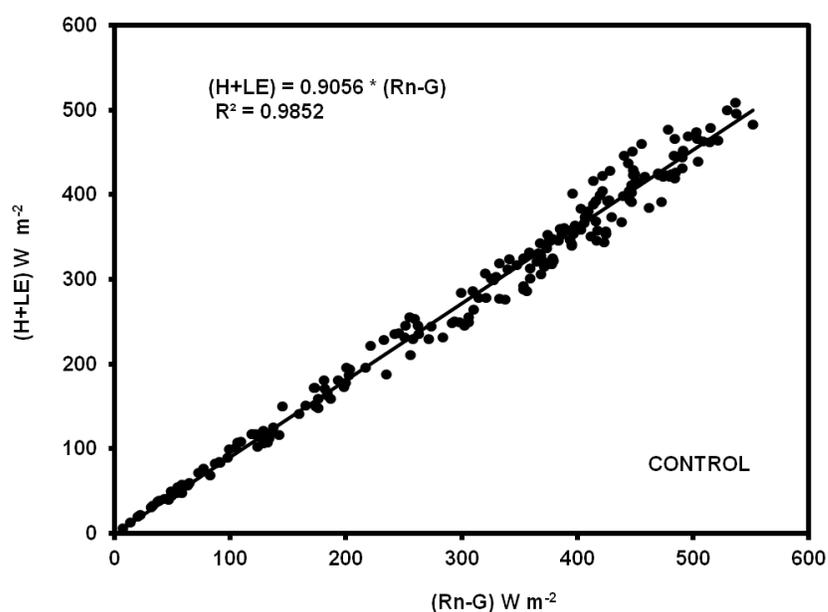


Figura 4. Variación diurna (8:00 a 19:00 h) de la radiación neta (R_n), flujo de calor latente (LE) y sensible (H), y flujo de calor en la superficie del suelo (G) sobre una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz, observada entre el 12 de mayo y el 23 de junio de 2013, bajo condiciones de cielo nublado sin (control) y con (tratamiento) aplicación de biofertilizantes. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

4.3 Balance de energía de los flujos superficiales

La suma de los flujos de calor sensible y latente (H+LE) fue 6.05% menor que la energía disponible (Rn-G) en la sección con tratamiento y 9.44% menor en la sección control (Figura 5). Este pequeño desbalance de energía está dentro del rango de aceptación para las mediciones de los flujos superficiales (H y LE) cuando se utiliza el método de la covarianza eddy (Wilson *et al.*, 2002; Foken, 2008; Zermeño-González *et al.*, 2012).

Nótese que la energía disponible (Rn-G) fue mayor en la sección control (Figura 5) lo cual se debió a que la radiación neta fue mayor y el flujo de calor en la superficie del suelo menor en esta sección, debido a una menor temperatura de la superficie (suelo-vegetación) resultado de una mayor disponibilidad de agua en el suelo por una porosidad superior (Cuadro 2). Resultados similares han sido reportados por Medina-Méndez *et al.*, (2006), González-Barríos *et al.*, (2011), He *et al.*, (2014).



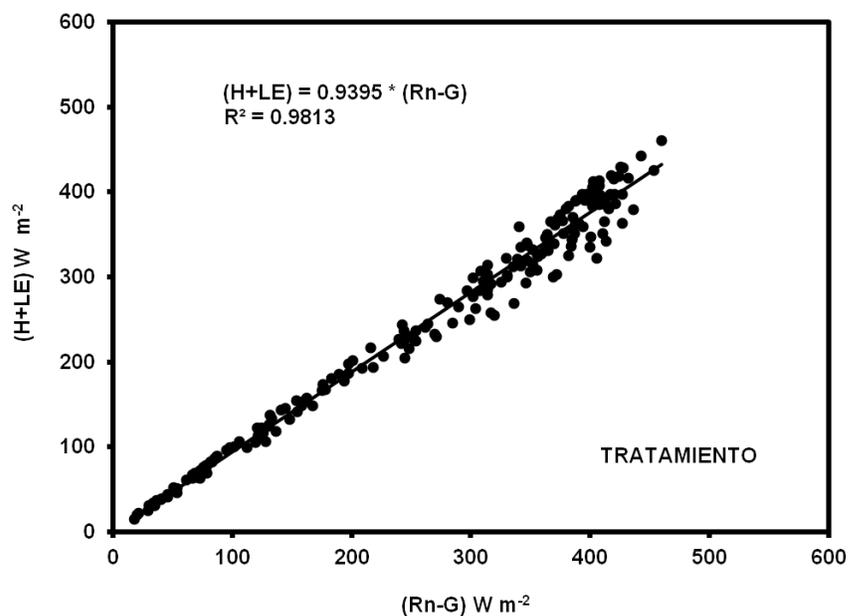


Figura 5. Relación entre la energía disponible (Rn-G) y la suma de los flujos por turbulencia (H+LE), promedios de 30 min sobre una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz con (tratamiento) y sin (control) aplicación de biofertilizantes. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

4.4 Tasa de intercambio neto de bióxido de carbono y de evapotranspiración de las plantaciones de vid

La aplicación de biofertilizantes al suelo y follaje incrementó la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) del dosel de la plantación de vid a través del ciclo de producción (Cuadro 3) (Wilcoxon, $\alpha \leq 0.05$). Esto probablemente se debió a un mayor contenido de clorofila de las hojas de las plantas (Jothinayagi and Anbazhagan, 2009; Erulan *et al.*, 2009; Thirumaran *et al.*, 2009; Latique *et al.*, 2013), ya que un mayor contenido de clorofila en las hojas está relacionado con una mayor asimilación de bióxido de carbono (Dordas and Sioulas, 2008; Spinelli *et al.*, 2009; Peng *et al.*, 2011). La tasa de

asimilación de CO₂ promedio diaria durante el ciclo producción (abril-septiembre) fue 247.08 mmol m⁻² en la plantación con aplicación de biofertilizantes, mientras que en la plantación sin aplicación fue 229.34 mmol m⁻², que correspondió a un incremento del 7.73%. Nótese que la tasa de asimilación en ambas plantaciones mostró una tendencia creciente de abril a junio (debido al desarrollo foliar de las plantas) y decreciente de junio a septiembre, observándose también que para cada mes la tasa de asimilación de CO₂ fue mayor en la plantación con aplicación de biofertilizantes (Cuadro 3). Estudios previos han reportado incrementos en el contenido de clorofila de diferentes cultivos por efecto de la aplicación de extractos de algas marinas. Por ejemplo, Jothinayagi y Anbazhagan (2009) mencionan que la aplicación de extractos de algas marinas al suelo y mojado de semillas aumentó el contenido de clorofila y el vigor de las plantas de Okra (*Abelmoschus esculentus*). Similarmente, en un cultivo de fresa (*Fragaria x annanasa*) Spinelli *et al.* (2010) observaron un incremento de 11% en el contenido de clorofila de las hojas por efecto de la aplicación de extractos de alga marinas, que resultó en un incremento de 27% de la producción de frutos. De igual forma, Khan *et al.* (2012) reportaron un aumento del contenido de clorofila de las hojas de un cultivo de vid cv Perette, por la aplicación foliar de extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*).

Cuadro 3. Tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) promedio diaria mensual (8:00 a 19:00 h) observada de abril a septiembre de 2013 en una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz con (Tratamiento) y sin (control) aplicación de biofertilizantes.

Mes	Tratamiento	Control
	NEE (mmol/m ²)	NEE (mmol/m ²)
Abril	96.60	74.43
Mayo	275.48	261.60
Junio	337.97	336.10
Julio	307.91	273.56
Agosto	285.64	259.18
Septiembre	178.86	171.16

La tasa de evapotranspiración promedio diaria durante el ciclo de crecimiento de plantación de la vid (abril a septiembre) fue mayor en la plantación sin aplicación de biofertilizantes (Cuadro 4) (Wilcoxon, $\alpha \leq 0.05$). Esto probablemente se debió más al efecto de una mayor retención de agua de la sección control, por una mayor porosidad del suelo (Cuadro 2), ya que a mayor contenido de agua en el suelo mayor es la evapotranspiración, como se ha reportado en varios estudios (Zhang *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2008; Balbontín-Nesvara *et al.*, 2011; Zermeño-González *et al.*, 2011).

Probablemente la aplicación de biofertilizantes al follaje modificó las propiedades espectrales de las hojas resultando en una mayor reflectancia de las plantas a la radiación solar (onda corta), que resultó en un menor

calentamiento de la hojas y una menor transpiración, como lo reportan Sánchez-de-Miguel *et al.* (2009) y Flores-López *et al.* (2009).

La tasa de evapotranspiración promedio diaria (abril a septiembre) del dosel de la plantación con aplicación de biofertilizantes fue 2.93 mm, mientras que en la sección sin aplicación fue 3.12 mm. Esto representó una diferencia de 6.48%. Nótese también que la tasa de evapotranspiración promedio diaria para cada uno de los meses en la sección con aplicación de biofertilizantes fue menor que en la sección sin aplicaciones.

Cuadro 4. Tasa de evapotranspiración (ET) promedio diaria mensual (8:00 a 19:00 h) observada de abril a septiembre de 2013 en una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes.

Mes	Tratamiento	Control
	ET (mm)	ET (mm)
Abril	1.94	2.11
Mayo	3.25	3.48
Junio	3.93	4.35
Julio	3.01	3.12
Agosto	3.08	3.10
Septiembre	2.36	2.55

4.5 Eficiencia del uso del agua

La eficiencia promedio diaria mensual del uso del agua (EUA) de abril a septiembre (ciclo de producción), fue mayor (Wilcoxon, $\alpha \leq 0.05$) en la plantación con aplicación de biofertilizantes (Tratamiento) que en la sección sin aplicaciones (Control) (Cuadro 5). La EUA promedio diaria ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) de abril a septiembre de la plantación con tratamiento fue 1.477, mientras que en la plantación control fue 1.281, lo que representó un incremento del 15.3 %. Este resultado se debió al efecto de una mayor tasa de asimilación de CO_2 por efecto de la aplicación de biofertilizantes y una menor evapotranspiración (Cuadros 3 y 4). Nótese que para cada uno de los meses (abril a septiembre) la EUA de la plantación con aplicación de biofertilizantes fue mayor que en la plantación sin aplicaciones. Debido a que en la plantación de vid, las líneas de plantas solo cubrieron el 47.1% de la superficie total (0.80 m de franja de plantas por 1.7 m de pasillo), los valores de EUA obtenidos en este estudio, son menores a los reportados para vegetaciones de mayor cobertura. Por ejemplo, Emmerich (2007) reportó una EUA ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) de hasta 3.01 para un ecosistema de un pasto C3 (*Lolium perenne* L.). De igual forma, Zermeño-González *et al.* (2011) para una pradera natural con predominancia de zacate picoso (*Sipa clandestina* Hack) con 60% de cobertura vegetal y diferentes condiciones climáticas encontraron un valor promedio de 3.01. Para una plantación de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) (cv CP 22086) la EUA fue de hasta 24.73 (Zermeño-González, *et al.*, 2012). Mientras que para las

especies de malezas de *Bidens pilosa*, *Commelina benghalensis* y *Brachiaria plantaginea* se reportaron eficiencias de hasta 4.85 (Aspiazú et al., 2010).

Cuadro 5. Eficiencia del uso del agua (EUA) promedio diaria mensual (8:00 a 19:00 h) observada de abril a septiembre de 2013 en una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes.

Mes	Tratamiento	Control
	EUA (mmolCO ₂ mol ⁻¹ H ₂ O)	EUA (mmolCO ₂ mol ⁻¹ H ₂ O)
Abril	0.898	0.636
Mayo	1.529	1.356
Junio	1.551	1.394
Julio	1.845	1.582
Agosto	1.673	1.508
Septiembre	1.367	1.211

4.6 Eficiencia cuántica

La eficiencia cuántica es la relación entre la tasa de asimilación de CO₂ y la de absorción de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) del dosel de la plantación. La PAR promedio diaria de abril a septiembre fue muy similar en ambas plantaciones (Cuadro 6). El promedio diario (mol fotones m⁻²) para los meses mencionados fue 39.13 para la plantación con aplicaciones de biofertilizantes y 39.01 en la plantación sin aplicaciones. De acuerdo con la prueba de Wilcoxon para datos apareados, los datos de PAR del Cuadro 6 son estadísticamente iguales ($\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 6. Radiación fotosintéticamente activa absorbida promedio diaria mensual (PAR) de abril a septiembre de 2013 en una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes.

Mes	Tratamiento	Control
	PAR (mol/m ²)	PAR (mol/m ²)
Abril	42.28	41.93
Mayo	41.23	40.96
Junio	45.21	45.25
Julio	34.44	34.34
Agosto	39.60	39.45
Septiembre	32.04	32.12

La eficiencia cuántica promedio diaria (mmol CO₂ mol⁻¹ fotones) durante el ciclo de producción (abril a septiembre) para condiciones diurnas (8:00 a 19:00 h) fue mayor en la plantación con aplicación de biofertilizantes al suelo y el follaje que en la plantación sin aplicaciones (Cuadro 7) (Wilcoxon, $\alpha \leq 0.05$). Dado que la tasa de absorción de la PAR fue igual en las dos plantaciones, la eficiencia cuántica mayor en la plantación con aplicación de biofertilizantes se debió a una mayor tasa de asimilación de CO₂ en dicha plantación (Cuadro 3). Nótese que la eficiencia cuántica tuvo una tendencia creciente de abril a julio y decreciente de julio a septiembre, y la máxima eficiencia se observó en julio con 8.94 y 7.97 con y sin aplicación de biofertilizantes respectivamente. La eficiencia promedio diaria de los meses evaluados (abril-septiembre) fue 6.36 y

5.91 con y sin aplicación de biofertilizantes. Esto correspondió a un incremento de 7.61% de la eficiencia cuántica por efecto de la aplicación de biofertilizantes.

Debido a que en la plantación de vid, las líneas de plantas sólo cubrieron el 47.1% de la superficie total, los valores de eficiencia cuántica observados en este estudio fueron menores a los que se observan en superficies vegetales de cobertura total. Por ejemplo, Makela *et al.* (2008) reportaron que para un ecosistema de bosques boreales en condiciones de clima templado la eficiencia cuántica fue hasta 57.35 mmol CO₂ mol⁻¹ fotones. Para un cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) y uno de algodón (*Gossypium herbaceum*) en máximo desarrollo, la eficiencia cuántica fue 39.22 y 24.61 respectivamente (Zhang *et al.*, 2008).

Cuadro 7. Eficiencia cuántica promedio diaria mensual (8:00 a 19:00 h) observada de abril a septiembre de 2013 en una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes.

Mes	Tratamiento	Control
	Ef_ Quántica	Ef_ Quántica
	mmolCO ₂ mol ⁻¹ fotones	mmolCO ₂ mol ⁻¹ fotones
Abril	2.28	1.78
Mayo	6.68	6.39
Junio	7.48	7.43
Julio	8.94	7.97
Agosto	7.21	6.57
Septiembre	5.58	5.33

4.7 Rendimiento y calidad del fruto

La aplicación de biofertilizantes al suelo y el follaje incrementó 13.9% el rendimiento de frutos (Duncan, $\alpha \leq 0.05$) (Figura 6). Esto probablemente se debió a una mayor tasa de asimilación de CO₂ (Cuadro 3) y mayor eficiencia cuántica (Cuadro 7) en la sección de la plantación con aplicación de biofertilizantes. Estudios previos han reportado el efecto de la aplicación de biofertilizantes en el crecimiento y rendimiento de diferentes cultivos. Por ejemplo, Zodape *et al.* (2010) mencionan un incremento de 30.11% en el rendimiento de grano del cultivo de frijol mungo o grano verde (*Phaseolus radiata* L.), por la aplicación foliar de extractos de algas marinas (*Kappaphycus alvarezii*). Para el mismo cultivo, Pramanick *et al.* (2013) observaron un incremento de 38.97% con aplicación foliar de extractos de algas marinas (*Kappaphycus alvarezii*). Rathore *et al.* (2009) reportaron incrementos de hasta 57% en rendimiento de grano de un cultivo de soya (*Glycine max* (L.) Merr.) con aplicación foliar de extractos de algas marinas (*Kappaphycus alvarezii*). Kumar y Sahoo, (2011) observaron un incremento del 11% en rendimiento de grano de un cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) cv Pusa Gold con aplicación líquida a las semillas de extractos de algas marinas (*Sargassum wightii*). Pramanick *et al.* (2014) reportaron un incremento de grano de un cultivo de arroz (*Oryza sativa*) de hasta 41.5% con aplicación foliar de extractos de algas marinas (*Kappaphycus alvarezii* y *Gracilaria* sp.).

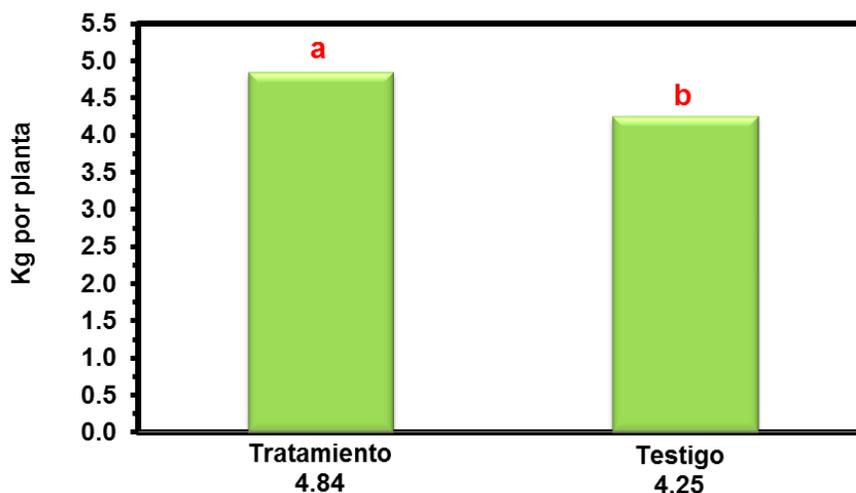


Figura 6. Rendimiento promedio de frutos por planta con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes en una plantación de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz, en el ciclo de producción 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

La aplicación de biofertilizantes al suelo y el follaje incrementó 3.04% los grados brix del jugo de los frutos (Duncan, $\alpha \leq 0.05$) (Figura 7). Resultados similares se han reportado para éste y otros cultivos. Por ejemplo, Colapietra y Alexander (2005) observaron un incremento de hasta 17° brix en un cultivo de uva de mesa (*Vitis vinífera*) cv Italia con aplicación foliar de extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*). El incremento en azúcares totales para una plantación de vid cv Perlette fue 28%, por la aplicación foliar de extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) (Khan *et al.*, 2012). Kumari *et al.* (2011) mencionan una mayor concentración de azúcares solubles totales de un cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Pusa Ruby con aplicación al suelo y foliar de extractos de algas marinas (*Sargassum johnstonii*).

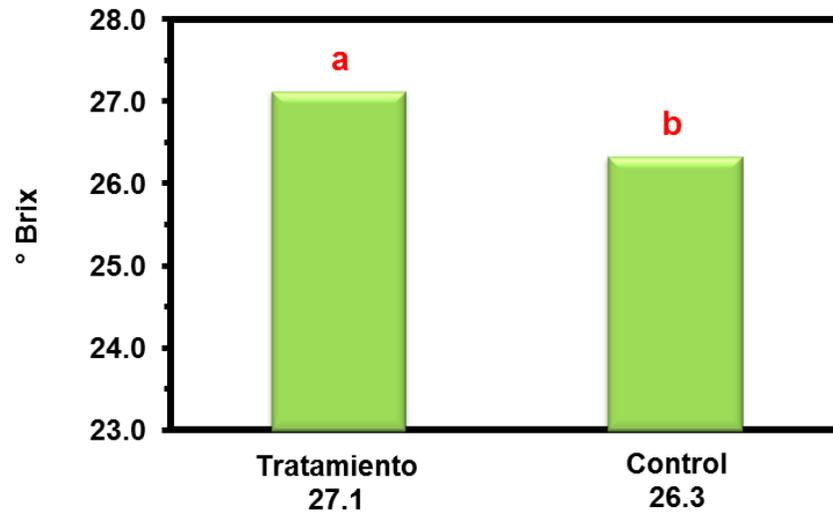


Figura 7. Grados brix de los frutos con (Tratamiento) y sin (Control) aplicación de biofertilizantes en una plantación de vid (*Vitis vinifera*) cv Shiraz, en el ciclo de producción 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

V. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio indicaron que la aplicación de biofertilizantes al suelo y follaje de una plantación de vid cv Shiraz incrementó la tasa de asimilación de bióxido de carbono y redujo la de evapotranspiración. Esto resultó en una mayor eficiencia cuántica y del uso del agua. El rendimiento de fruto y sus grados brix también fueron mayores en la sección con aplicación de biofertilizantes.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Abdel-Maguid, A. A., A. B. El-Sayed, and H. S. A. Hassan. 2004. Growth enhancement of olive transplants by broken cells of fresh green algae as soil application. *J. Agric. Res.* 29(3): 723-737.

Abowei, J. F. N., and E. N. Ezekiel. 2013. The potential and utilization of seaweeds. *Scientia Agriculturae.* 4(2): 58-66.

Aspiazú, I., T. Sedyama, Jr. J. I. Ribeiro, A. A. Silva, G. Concenco, L. Galon, E. A. Ferreira, A. F. Silva, E.T. Borges, and W. F. Araujo. 2010. Eficiencia fotosintética y de uso del agua por malezas. *Planta Daninha* 28(1): 87-92.

Bai, N. R., R. M. Christi, and T. C. Kala. 2011. Seaweed liquid fertilizer as an alternate source of chemical fertilizer in improving the yield of *Vigna radiata* L.. *Plant Archives* 11(2): 895-898.

Balbontín-Nesvara, C., A. Calera-Belmonte, J. González-Piqueras, I. Campos-Rodríguez, M. L. López-González, and E. Torres-Prieto. 2011. Comparación de los sistemas covarianza y relación de Bowen en la evapotranspiración de un viñedo bajo clima semi-árido. *Agrociencia* 45(1): 87-103.

Berengena, J., and P. Gavilán. 2005. Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131(2): 147-163.

Blum, A., 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Res.* 112(2): 119-123.

Canales-López B. 2000. Enzimas-Algas: posibilidades de su uso para estimular la producción agrícola y mejorar los suelos. *Terra* 17(3): 271-276.

Cerisola, C. I., M. G. García, and R. R. Filgueira. 2005. Soil porosity distribution of a clay loam soil (Alfisol) in semi-arid conditions after 15 years under direct drilling. *Ciencia del suelo. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo* 23(2): 167-178.

Colapietra, M., and A. Alexander. 2005. Effect of foliar fertilization on yield and quality of table grapes. *V International symposium on mineral nutrition of fruit plants* 721(1): 213-218.

Columela, F. 2011. *Viticultura y enología. Manuales formativos para la vid y el vino.* Vinificatum.bolgspot.mx. Diciembre 2014.

Coops, N. C., T. Hilker, F. G. Hall, C.J. Nichol, and G. G. Drolet. 2010. Estimation of light-use efficiency of terrestrial ecosystems from space: a status report. *BioScience* 60(10): 788-797.

- Cueto, O. G., C. E. I. Coronel, M. H. Suárez, E. L. Bravo, y A. S. Iznaga. 2008. Efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferralsol. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 17(2): 50-54.
- Craigie, J. S. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology* 23(3): 371-393.
- Crouch, I. J., and J. Van Staden. 1993. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant growth regulation* 13(1): 21-29.
- Dhargalkar, V.K., and N. Pereira. 2005. Seaweed: promising plant of the millennium. *Science Cult.* 71(3-4): 60-66.
- Dogra, B. S., and R. K. Mandradia. 2014. Effect of seaweed extract on growth and yield of onion. *International Journal of Farm Sciences* 2(1): 59-64.
- Dordas, C. A., and C. Sioulas. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. *Industrial Crops and Products* 27(1): 75-85.
- El Economista 2013. www.com.mx/columnas/agro-negocios-produccion-vid-alternativa-rentable-productor. (Fecha de la consulta 4 de octubre de 2013).

- Eman, A., A. E. Moniem, and A. S. E. Abd-Allah. 2008. Effect of green algae cells extract as foliar spray on vegetative growth, yield and berries quality of superior grapevines. *Am Euras J. Agric. and Environ. Sci.* 4(4): 427-433.
- Emmerich, W. E. 2007. Ecosystem water use efficiency in a semiarid shrubland and grassland community. *Rangeland Ecology Management* 60(5): 464-470.
- Erulan, V., G. Thirumaran, P. Soundarapandian, and G. Ananthan. 2009. Studies on the effect of *Sargassum polycystum* (C. agardh, 1824) extract on the growth and biochemical composition of *Cajanus Cajan* (L.) Mill sp. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 6(4): 392-399.
- Flores-López, R., F. Sánchez-del Castillo, J. E. Rodríguez-Pérez, R. Mora-Aguilar, M. T. Colinas-León, y H. Lozoya-Saldaña. 2009. Influencia de la radiación solar en la producción de semilla-tubérculo de papa bajo cultivo sin suelo. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 15(1):25-30.
- FOCIR, 2005. Boletín Quincenal de Inteligencia Agroindustrial. <http://www.focir.gob.mx/documentos/boletin/infociroct28.pdf>. No. 10 Vol. I octubre 28.
- Foken, T. 2008. The energy balance closure problem: an overview. *Ecological Applications* 18(6): 1351-1367.

- González-Barrios, J. L., G. González-Cervantes, I. Sánchez-Cohen, A. López-Santos, y L. M. Valenzuela-Núñez. 2011. Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra Latinoamericana* 29(4): 369-377.
- Ham, J. M., and J. L. Heilman. 2003. Experimental test of density and energy-balance corrections on carbon dioxide flux as measured using open-path eddy covariance. *Agronomy Journal* 95(6): 1393-1403.
- Hammerle, A., A. Haslwanter, U. Tappeiner, A. Cernusca, and G. Wohlfahrt. 2008. Leaf area controls on energy partitioning of a temperate mountain grassland. *Biogeosciences* 5(2): 1-20.
- Hao, Y., Y. Wang, X. Mei, X. Huang, X. Cui, X. Zhou, and H. Niu. 2008. CO₂, H₂O and energy exchange of an Inner Mongolia steppe ecosystem during a dry and wet year. *Acta Oecologica* 33(2): 133-143.
- Hernández-Herrera, R. M., F. Santacruz-Ruvalcaba, M. A. Ruiz-López, J. Norrie, and G. Hernández-Carmona. 2014. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology* 26(1): 619-628.
- He, Y. D., X. Ding, R. M. Li, Y. X. Liu, and B. Z. Wang. 2014. Effects of tillage practices on top layer soil moisture content and soil porosity in Banana plantation. *Advanced Materials Research* 955-959(1): 3540-3543.

- Jenkins, J. P., A. D Richardson, B. H. Braswell, S. V. Ollinger, D. Y. Hollinger, and M. L. Smith. 2007. Refining light-use efficiency calculations for a deciduous forest canopy using simultaneous tower-based carbon flux and radiometric measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 143(1): 64-79.
- Jiyane, J., y A. Zermeño-González. 2003. Aplicación del enfoque de evapotranspiración a equilibrio en la agricultura de riego en zonas áridas. *Agrociencia* 37(6): 553-563.
- Jothinayagi, N., and C. Anbazhagan. 2009. Effect of seaweed liquid fertilizer of *Sargassum wightii* on the growth and biochemical characteristics of *Abelmoschus esculentus* (L.) Medikus. *Recent Research in Science and Technology* 1(4): 155-158.
- Khan, W., U. P. Rayirath, S. Subramanian, M. N. Jithesh, P. Rayorath, D. M. Hodges, A. T. Critchley, J. S. Craigie, J. Norrie, and B. Prithiviraj. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Plant Growth Regul.* 28(4): 386–399.
- Khan, A. S., B. Ahmad, M. J. Jaskani, R. Ahmad, and A. U. Malik. 2012. Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (*Ascophylum nodosum*) extract improve growth and physicochemical properties of grapes. *International Journal of Agriculture and Biology* 14(3): 383-388.
- Kochendorfer, J., and U. K. T. Paw. 2011. Field estimates of scalar advection across a canopy edge. *Agricultural and forest meteorology* 151(5): 585-594.

- Kumar, G., and D. Sahoo. 2011. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. *Journal of Applied Phycology* 23(2):251-255.
- Kumari, R., I. Kaur, and A. K. Bhatnagar. 2011. Effect of aqueous extract of *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill. *Journal of Applied Phycology* 23(3): 623-633.
- Latique, S., H. Chernane, M. Mansori, and M. El Kaoua. 2013. Seaweed liquid fertilizer effect on physiological and biochemical parameters of bean plant (*Phaseolus Vulgaris* variety Paulista) under hydroponic system. *European Scientific Journal* 9(30): 174-191.
- Li, L., and Q. Yu. 2007. Quantifying the effects of advection on canopy energy budgets and water use efficiency in an irrigated wheat field in the North China Plain. *Agricultural water management* 89(1): 116-122.
- Lingakumar, K., R. Jeyaprakash, C. Manimuthu, and A. Haribaskar. 2004. Influence of *Sargassum* sp. crude extract on vegetative growth and biochemical characteristics in *Zea mays* and *Phaseolus mungo*. *Seaweed Research and Utilisation* 26(1): 155–160.
- Liu, H., G. Tu, C. Fu, and L. Shi. 2008. Three-year variations of water, energy and CO₂ fluxes of cropland and degraded grassland surfaces in a semi-arid area of Northeastern China. *Advances in Atmospheric Sciences* 25(6): 1009-1020.

- Lola-Luz, T., F. Hennequart, and M. Gaffney. 2014. Effect on yield, total phenolic, total flavonoid and total isothiocyanate content of two broccoli cultivars (*Brassica oleraceae* var *italica*) following the application of a commercial brown seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*). *Agricultural and Food Science* 23(1): 28-37.
- Makela, A., M. Pulkkinen, P. Kolari, F. Lagergren, P. Berbigier, A. Lindroth, D. Loustau, E. Nikinmaa, T. Vesala, and P. Hari. 2008. Developing an empirical model of stand GPP with the LUE approach: analysis of eddy covariance data at five contrasting conifer sites in Europe *Global Change Biology* 14(1):92-108.
- Martens, C. S., T. J. Shay, H. P. Mendlovitz, D. M. Matross, S. R. Saleska, S. C. Wofsy, W. S. Woodward, M. C. Menton, J. M. S. De Moura, P. M. Crill, O. L. L. De Moraes, and R. L. Lima. 2004. Radon fluxes in tropical forest ecosystems of Brazilian Amazonia: night-time CO₂ net ecosystem exchange derived from radon and eddy covariance methods. *Global Change Biol.* 10(5): 618-629.
- Medina-Méndez, J., V. H. Volke-Haller, J. González-Ríos, A. Galvis-Spcinola, M. J. Santiago-Cruz, y J. L. Cortés-Flores. 2006. Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en luvisoles del estado de Campeche. *Universidad y Ciencia* 22(2): 175-189.
- Medrano, H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas-Carbó, y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43(1): 63-84.

- Metting, B., W. J. Zimmerman, I. Crouch, and J. van Staden. 1990. Agronomic uses of seaweed and microalgae. Introduction of applied phycology. SPB, The Hague, 589-627.
- Norrie, J., and J. P. Keathley. 2005. Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to 'Thompson seedless' grape production. (Proceedings of the Xth International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production). Acta Hort. 727(1):243–248.
- Peng, Y., A. A. Gitelson, G. Keydan, D. C. Rundquist, and W. Moses. 2011. Remote estimation of gross primary production in maize and support for a new paradigm based on total crop chlorophyll content. Remote Sensing of Environment 115(4): 978-989.
- Pramanick, B., K. Brahmachari, and A. Ghosh. 2013. Effect of seaweed saps on growth and yield improvement of green gram. African Journal of Agricultural Research 8(13): 1180-1186.
- Pramanick, B., K. Brahmachari, A. Ghosh, and S. T. Zodape. 2014. Effect of seaweed saps on growth and yield improvement of transplanted rice in old alluvial soil of West Bengal. Bangladesh Journal of Botany 43(1):53-58.
- Quitral, V., C. Morales, M. Sepúlveda, y M. Schwartz. 2012. Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. Revista chilena de nutrición 39(4): 196-202.

- Ramya, S. S., S. Nagaraj, and N. Vijayanand. 2011. Influence of seaweed liquid extracts on growth, biochemical and yield characteristics of *Cyamopsis tetragonolaba* (L.) taub. *Journal of Phytology* 3(9): 37-41.
- Rathore, S. S., D. R. Chaudhary, G. N. Boricha, A. Ghosh, B. P. Bhatt, S.T. Zodape, and J. S. Patolia. 2009. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. *South African Journal of Botany* 75(2): 351-355.
- Rebours, C., S. F. Pedersen, I. Ovsthus, and M. Roleda. 2014. Seaweed - a resource for organic farming. *Bioforsk Fokus* 9(2): 107.
- Robledo, D. 1997. Las algas y la biodiversidad. CONABIO. *Biodiversidad* 13(1): 1-4.
- Sabir, A., K. Yazar, F. Sabir, Z. Kara, M. A. Yazici, and N. Goksu. 2014. Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) and nanosize fertilizer pulverizations. *Scientia Horticulturae* 175(15): 1-8.
- Sánchez de Miguel, P., P. Junquera, L. Jiménez, y J. R. Lissarrague. 2009. Efectos de la temperatura foliar y de la humedad relativa en la respuesta fotosintética a la luz de hojas de vid de los cvs. Cabernet sauvignon y tempranillo, en el periodo de maduración. *Revista enología* 6(1):2.
- Sathya, B., H. Indu, R. Seenivasan, and S. Geetha. 2010. Influence of seaweed liquid fertilizer on the growth and biochemical composition of legum crop, *Cajanus cajan* (L.) mill sp. *Journal of Phytology* 2(5): 50–63.

- Schull, M. A., M. C. Anderson, W. P. Kustas, and R. Houborg. 2013. Improved regional mapping of carbon, water, and energy land-surface fluxes through indicators of canopy light use efficiency. American Geophysical Union, Fall Meeting Abstracts B51B-0267 (1):267.
- Selvam, G. G., and K. Sivakumar. 2014. Influence of seaweed extract as an organic fertilizer on the growth and yield of *Arachis hypogea* L. and their elemental composition using SEM–Energy Dispersive Spectroscopic analysis. Asian Pacific Journal of Reproduction 3(1): 18-22.
- Shurpali, N. J., C. Biasi, S. Jokinen, N. Hyvönen, and P. J. Martikainen. 2013. Linking water vapor and CO₂ exchange from a perennial bioenergy crop on a drained organic soil in eastern Finland. Agricultural and Forest Meteorology 168(1): 47-58.
- Spann, T. M., and H. A. Little. 2011. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown 'Hamlin' Sweet Orange nursery trees. *HortScience* 46(4): 577-582.
- Spinelli, F., G. Fiori, M. Noferini, M. Sprocatti, and G. Costa. 2009. Perspectives on the use of a seaweed extract to moderate the negative effects of alternate bearing in apple trees. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 84(1): 131-137.

- Spinelli, F., G. Fiori, M. Noferini, M. Sprocatti, and G. Costa. 2010. A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. *Scientia horticultrae* 125(3): 263-269.
- Sunarpi, A. Jupri, R. Kurnianingsih, N. I. Julisaniah, and A. Nikmatullah. 2010. Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants. *Bioscience* 2(2):73–77.
- Thirumaran, G., M. Arumugam, R. Arumugam, and P. Anantharaman. 2009. Effect of seaweed liquid fertilizer on growth and pigment concentration of *Abelmoschus esculentus*(l) Medikus. *American-Eurasian Journal of Agronomy* 2(2): 57–66.
- Tolk, J. A., S. R. Evett, and T. A. Howell. 2006. Advection influences on evapotranspiration of alfalfa in a semiarid climate. *Agronomy journal* 98(6): 1646-1654.
- Tong, X., J. Zhang, P. Meng, J. Li, and N. Zheng. 2014. Ecosystem water use efficiency in a warm-temperate mixed plantation in the North China. *Journal of Hydrology* 512(1): 221-228.
- Webb, E. K., G. I. Pearman, and R. Leuning. 1980. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 106(447): 85-100.
- Wilson, K., A. Goldstein, E. Falge, M. Aubinet, D. Baldocchi, P. Berbigier, C. Bernhofer, R. Ceulemans, H. Dolman, C. Field, A. Grelle, A. Ibrom., B. E. Law, A. Kowalski, T. Meyers, J. Moncrieff, R. Monson, W. Oechel, J.

Tenhunen, R. Valentini, and S. Verma. 2002. Energy balance closure at FLUXNET sites. *Agric. For. Meteorol.* 113(1-4): 223-243.

Zodape, S.T., S. Mukhopadhyay, K. Eswaran, M. P. Reddy, and J. Chikara. 2010. Enhanced yield and nutritional quality in green gram (*Phaseolus radiata* L.) treated with seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract. *J Sci Ind Res.* 69(6): 468-471.

Zermeño-González, A. 2007. Balance de energía sobre superficies vegetales y su aplicación en la agricultura, memorias del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Bermejillo, Dgo, México, Noviembre de 2007.

Zermeño-González, A., J. A. Flores-Guerrero, J. P. Munguía-López, J. A. Gil-Marín, R. Rodríguez-García, E. A. Catalán-Valencia, L. Ibarra-Jiménez, y H. Zermeño-González. 2010. Evapotranspiración y su relación con la evapotranspiración a equilibrio de una huerta de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) del norte de México. *Agrociencia* 44(8): 885-893.

Zermeño-González, A., J. A. Ríos-Estudillo, J. A. Gil-Marín, M. Cadena-Zapata, y J. A. Villareal-Quintanilla. 2011. Dinámica del flujo de bióxido de carbono y de energía sobre un pastizal natural del norte de México. *Bioagro* 23(1): 35-42.

Zermeño-González, A., S. Villatoro-Moteno, J. J. Cortés-Bracho, M. Cadena-Zapata, E. A. Catalán-Valencia, M. A. García-Delgado, y J. P. Munguía-López. 2012. Estimación del intercambio neto de CO₂ en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. *Agrociencia* 46(6): 579-591.

- Zhang, B. Z., S. Z. Kang, L. Zhang, T. S. Du, S. E. Li, and X. Y. Yang. 2007. Estimation of seasonal crop water consumption in a vineyard using Bowen ratio-energy balance method. *Hydrological processes* 21(26): 3635-3641.
- Zhang, L. Z., W. V. D. Werf, L. Bastiaans, S. Zhang, B. Li, and J. H. J. Spiertz. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. *Field Crops Research* 107(1): 29-42.
- Zodape, S. T., S. Mukhopadhyay, K. Eswaran, M. P. Reddy, and J. Chikara. 2010. Enhanced yield and nutritional quality in green gram (*Phaseolus radiata* L.) treated with seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract. *Journal of Scientific and Industrial Research* 69(6): 468-471.