



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
INVESTIGACION PARA EL DESARROLLO
INTEGRAL REGIONAL**



**“OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO AGUA A TRAVÉS DE LA AGROACUICULTURA
EN LA CIÉNEGA DE CHAPALA”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE**

P R E S E N T A

JOSÉ EDUARDO JUÁREZ RUÍZ

Directores de Tesis

M.C. Carlos Escalera Gallardo.

Dr. Luis Fernando Ceja Torres.

Jiquilpan, Michoacán.

Enero 2012



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Jiquilpan, Michoacán siendo las 11:00 horas del día 11 del mes de Enero del 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR Unidad Michoacán para examinar la tesis titulada:

Optimización del recurso agua a través de la aplicación de la Agroacuicultura en la Ciénega de Chapala

Presentada por el alumno:

Juárez	Ruíz	José Eduardo
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre

Con registro:

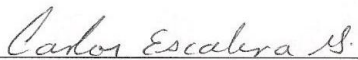
B	1	0	1	5	3	8
---	---	---	---	---	---	---


aspirante de:

Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA
Directores de tesis



M.C. Carlos Escalera Gallardo.


Dr. Luis Fernando Ceja Torres.


Dr. Rodrigo Moncayo Estrada.


Dr. José Venegas González


M.C. Miriam Arroyo Damián


Dr. Guillermo Herrera Arreola.
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES.





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Jiquilpan de Juárez Michoacán. El día 9 del mes Enero del año 2013, el (la) que suscribe José Eduardo Juárez Ruíz alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable con número de registro B101538, adscrito a C.I.I.D.I.R I.P.N. Unidad Michoacán, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del M. en C. Carlos Escalera Gallardo y Dr. en C. Luis Fernando Ceja Torres y cede los derechos del trabajo intitulado "Optimización del recurso agua a través de la agroacuicultura en la Ciénega de Chapala", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones: cescalera@ipn.mx, lfceja@ipn.mx, odraude_42@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

J. Eduardo J.R.
José Eduardo Juárez Ruíz

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por el apoyo y las facilidades otorgadas al proyecto de investigación para el desarrollo de esta tesis.

Al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por el otorgamiento de la beca.

A mi director de Tesis, M. en C. Carlos Escalera Gallardo por brindarme la oportunidad de trabajar con él, gracias por su apoyo, perseverancia, lecciones y amistad, elementales para la finalización de este trabajo.

Al Dr. Luis Fernando Ceja Torres, por sus valiosas sugerencias y acertados aportes durante el desarrollo de este trabajo, así también agradezco su disponibilidad y amistad.

Al Dr. Rodrigo Moncayo, por su disposición, amistad y su valiosa crítica a lo largo de este trabajo.

Al Dr. José Venegas Gonzales, Dr. Teodoro Silva García y M. en C. Miriam Arroyo por su ayuda en este trabajo y su apoyo para la culminación de este trabajo.

A cada uno de los maestros, que con su servicio y conocimientos participaron en mi desarrollo profesional durante mis estudios de maestría.

A todos mis amigos y compañeros de la generación que estuvieron conmigo y compartimos tantas aventuras, experiencias, desveladas y triunfos. Gracias a cada uno por hacer que mi estancia en el CIIDIR-IPN fuera una experiencia única.

A todos aquellos que de alguna u otra manera contribuyeron con en este proyecto, gracias por su disponibilidad, amistad y calidez. No olvidaré sus consejos, enseñanzas y ayuda.

DEDICATORIAS

Son muchas las personas especiales a los que les gustaría agradecer, su amistad, apoyo y compañía en las diferentes etapas de mi vida “Amigos, Compas, y Karnalitos”.

Para mis padres por su comprensión y ayuda en momentos malos y menos malos. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

A mis hermanos Julio y Yera, los quiero sin medida y los llevo presentes en todo momento esperando les sirva de ejemplo.

Mis abuelitos Mamá Mari y Papá Chene que me han ayudado siempre y en todo momento y ese cariño tan especial que los caracteriza “es por ustedes”.

Una de los primeros en alentarme a estudiar fuiste tú tía Roselia (QEPD) un logro más a tu memoria, mi tía Chelina (QEPD) por sus abrazos y tu ternura que me alimentaban gracias por sus bendiciones.

A mis tíos, primos, y amigos. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Para mi novia María Guadalupe Gómez Zamora, a ella principalmente le dedico esta Tesis. Por su paciencia, comprensión, perseverancia, fuerza, amor y por ser tal y como es,... porque la quiero. . Realmente ella me llena por dentro para conseguir un equilibrio que me permita dar el máximo de mí. Nunca le podré estar suficientemente agradecido.

A todos ustedes, muchas gracias de todo corazón.

Eduardo

ÍNDICE

Tema	N° de Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUCCION _____	1
2. HIPÓTESIS _____	4
3. OBJETIVO GENERAL. _____	5
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS _____	5
4. JUSTIFICACIÓN _____	6
5. ANTECEDENTES _____	8
5.1 PROBLEMÁTICA DEL AGUA _____	8
5.2 LA AGRICULTURA IRRIGADA _____	10
5.3 ACUACULTURA _____	11
5.4 HISTORIA DE LOS SISTEMAS INTEGRADOS _____	13
5.5 PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN/M ³ _____	16
6. MATERIALES Y MÉTODOS _____	18
6.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. _____	18
6.2 CULTIVO DEL TRIGO _____	18
6.3 CULTIVO DE CHILE _____	19
6.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA UTILIZADA EN AMBOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN _____	20
6.5 SISTEMA DE RIEGO _____	21

6.6 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DEL SUELO _____	21
6.6.1 <i>Materia Orgánica (método de Walkley y Black).</i> _____	22
6.6.2 <i>Determinación de pH de suelo medido en agua</i> _____	22
6.6.3 <i>Medición de la conductividad eléctrica del extracto de saturación</i> _____	23
6.6.4 <i>Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (cic)</i> _____	24
6.6.5 <i>Determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos.</i> ___	24
6.6.6 <i>Determinación de la capacidad de retención de agua (cra).</i> _____	25
6.6.7 <i>Determinación de la humedad</i> _____	25
6.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO _____	26
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	27
7.1 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA POTABLE Y AGUA DE LOS ESTANQUES_	27
7.2 VALORACIÓN AGRONÓMICA EN EL CULTIVO DE TRIGO _____	28
7.2.1 <i>ALTURA DE PLANTA</i> _____	28
7.2.3 <i>DIÁMETRO DEL TALLO DEL TRIGO</i> _____	30
7.2.4 <i>LONGITUD DE LA ESPIGA, MATERIA SECA Y PRODUCCIÓN</i> _____	31
7.3 VALORACIÓN AGRONÓMICA EN EL CULTIVO DE CHILE _____	35
7.3.1 <i>ALTURA DE LA PLANTA</i> _____	35
7.3.2 <i>DIÁMETRO DE TALLO</i> _____	36
7.3.3 <i>PRODUCCIÓN DE FRUTO</i> _____	37
7.3.4 <i>MATERIA SECA</i> _____	40
7.4 ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO POR TRATAMIENTO _____	41
8. CONCLUSIONES _____	45
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	46
FUENTES DE INTERNET _____	53

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Título	Página N°
Figura 1	Establecimiento del experimento.	29
Figura 2	Siembra del trigo.	30
Figura 3	Emergencia de la plántula del chile serrano.	31
Figura 4	Sistema de riego por goteo.	32
Figura 5	Alturas promedio de las plantas del trigo en cuatro Tratamientos.	40
Figura 6	Valores promedio del diámetro del tallo de las plantas de trigo.	42
Figura 7	Valores promedio de longitud de espiga, materia seca y producción del trigo.	43
Figura 8	Números de espiga por tratamiento.	
Figura 9	Alturas promedio de las plantas del chile.	47
Figura 10	Diámetros promedio de las plantas del chile.	48
Figura 11	Número de fruto por planta por tratamiento.	49
Figura 12	Fechas de cosecha del chile serrano.	49
Figura 13	Producción promedio de las plantas del chile.	51
Figura 14	Materia seca promedio de las plantas del chile.	52
Figura 15	Análisis químicos del suelo, antes y después del cultivo (tratamiento AT).	53
Figura 16	Análisis químicos del suelo, antes y después del cultivo (tratamiento AFT).	54
Figura 17	Análisis químicos del suelo, antes y después del cultivo (tratamiento AET).	54
Figura 18	Análisis químicos del suelo, antes y después del cultivo (tratamiento ET).	55

ÍNDICE DE TABLAS.

N°	Título	N° de Página
Tabla 1	Parámetros registrados del agua potable y del estanque	38-39

RESUMEN

La agricultura como sistema de producción utiliza la mayor parte del agua dulce disponible en la Ciénega de Chapala, de la cual se pierde aproximadamente el 60% en el proceso de riego, esto debido a la ineficiencia y poca tecnificación del mismo, por lo que el objetivo de este estudio es optimizar el uso del agua e incrementar su valor agregado a través de la interrelación de dos actividades productivas “acuicultura y agricultura”. Para ello, se establecieron dos cultivos agrícolas: trigo y chile, utilizando el agua de desecho de los sistemas de producción de peces en el riego de estos cultivos, con el propósito de observar la respuesta fisiológica de crecimiento de las plantas a través de las variables agronómicas (altura de la planta, diámetro del tallo, longitud de espiga, producción de grano y materia seca). Con el fin de corroborar el impacto, se implementó un diseño experimental incluyendo el empleo de fertilizantes inorgánicos y en combinación con el agua de los estanques y el agua solamente, también se realizó el análisis de las características del suelo antes y después del cultivo. Los resultados indican que las diferentes variables agronómicas evaluadas presentan comportamientos parecidos en ambos cultivos conformando dos grupos, el primero de ellos donde es utilizado el fertilizante inorgánico como detonante del desarrollo vegetativo en una proporción del 100% y 50% más agua de desecho de los estanques en el sistema de riego y el segundo donde no se utilizó el fertilizante inorgánico, dichos grupos presentaron diferencia estadística significativa entre ellos. Se puede concluir que los sistemas integrados es una alternativa viable para la reutilización de los desechos de una actividad como insumos de la otra, con la opción de disminuir hasta en un 50% la aplicación del fertilizante inorgánico sin afectar la producción del cultivo, esto nos permite asegurar un mejor manejo de los recursos naturales e incrementar la producción por volumen de agua en los sistemas integrados.

ABSTRACT

Agriculture as a production system uses most of the available fresh water in the Cienega de Chapala, which lost about 60% in the irrigation process, this due to the inefficiency and few technification of the activity, therefore the objective of this study is to optimize the use of water and increase its value through the interrelationship of two productive activities "aquaculture and agriculture". In order to do it, we established two cultivations: wheat and chili pepper, using waste water from fish production systems to irrigate these crops, with the purpose to observe the physiologic response of plant growth through agronomic traits (plant height, stem diameter, spike length, grain yield and dry matter). We corroborated the impact, by implementing an experimental design including inorganic fertilizers and combined with the water from the fish ponds, as well as, the water alone, in addition we conducted the analysis of soil characteristics before and after cultivation. Results indicated that agronomic traits showed similar behavior in both cultivations and were divided into two groups, first those treatments including inorganic fertilizers in 100% and 50% proportions, as triggers for the vegetative development, and second, the treatments without fertilizers, both groups were statistically different. It may be concluded that integrated system is a viable alternative for reusing waste as inputs activity of the other, for the purpose of better management natural resources and increase production volume of water in the systems.

1. INTRODUCCION

Actualmente el agua es uno de los recursos que ocupa más la atención de científicos, técnicos, políticos y en general, de muchos de los habitantes del planeta, debido al deterioro de la calidad de las aguas superficiales y la disminución crítica en los niveles de disponibilidad en la mayor parte de las cuencas y en los principales acuíferos. Esta situación representa una grave condición que limita el desarrollo y pone en riesgo el abasto de agua de las generaciones futuras, lo cual pudiera incluso agravarse por una eventual disminución en las precipitaciones por efectos del cambio climático global.

La escasez de agua se ha venido considerando como un problema hidrológico, cuando en realidad es cada vez en mayor grado un problema económico, puesto que se trata de un recurso escaso, que al margen de otros usos, es demandado casi en un 90% para actividades económicas. La creciente necesidad de alcanzar el equilibrio hidrológico se logrará armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso, mediante el uso eficiente del agua. Ante una situación de escasez del agua, la amenaza se cierne sobre tres aspectos fundamentales del bienestar humano: producción de alimentos, salud y estabilidad política y social. Esto se complica aún más si el recurso disponible se encuentra compartido, sin considerar el aspecto ecológico.

La calidad del agua es fundamental para el alimento, la energía y la productividad. El manejo adecuado de este recurso es central para la estrategia del desarrollo sustentable, entendido éste como una gestión integral que busque el equilibrio entre crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental a través de un mecanismo regulador que es la participación social efectiva.

México obtiene el agua que consume de fuentes tales como ríos, arroyos y acuíferos que se recargan de forma natural en época de lluvias. Sin embargo, esta tiene una duración promedio de cuatro meses, lo que propicia una captación menor

que lo requerido llevando este recurso a la sobreexplotación. Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, aproximadamente el 70% se evapora con lo que la disponibilidad del recurso es cada vez menor ya que actualmente se enfrentan graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua.

La ordenación del cultivo de organismos acuáticos con otras actividades productivas (agrícola) se conoce como sistema de agro acuicultura integrada (AAI). La principal característica de los sistemas de AAI es el flujo de nutrientes entre las distintas actividades. El ejemplo más común es la utilización de los subproductos de una actividad como insumos de otra, con el objetivo de incrementar la producción, como es el caso del sedimento y el agua, rica en nutrientes, que pueden ser utilizados en la producción de cultivos terrestres (Prein, 2002). Por lo que la AAI pretende conjuntar las actividades regionales del sector acuícola y agrícola, considerando que ambas cumplen con la función de generar alimentos, básicamente proteínas, aceites, semillas, cereales, que se incorporan a la cadena agroalimentaria en general.

La integración y sinergia de estas actividades requiere experimentación constante, ya que el cultivo de peces actualmente es un campo de estudio de la biotecnología sin dejar a un lado los avances en el ramo de la agricultura. El cultivo de peces ofrece la oportunidad de iniciar la transformación hacia el manejo integrado del establecimiento, donde los residuos y subproductos de una actividad sirven como nutrientes de otra. Además, permite reducir la dependencia de insumos externos y proporciona nuevas formas de comercialización y procedimientos de investigación para la búsqueda de mejoras en el manejo, que contrastan con los intentos de diversificación pasados (Zajdband, 2009).

La producción integral de plantas y peces en estanques es una práctica antigua. Se cree que fue desarrollada por los primeros agricultores como otra herramienta para la producción primaria de alimentos. Las referencias más antiguas sobre esta práctica datan de hace aproximadamente 4,000 años, en China, y de 3,500 años, en la Mesopotamia. En la China antigua, durante la dinastía de Han Oriental (25 a

250 d.C.) fue documentada la producción combinada de arroz y de peces (Acuña, 2004).

Por lo que el objetivo de este trabajo fue incrementar la producción total por unidad de volumen de agua utilizado a través de la agroacuicultura para disminuir las presiones ambientales, aumentar las ganancias por volumen de agua utilizado e acrecentar el valor agregado de este recurso.

2. HIPÓTESIS

La interrelación de los dos sistemas de producción (acuícola – agrícola) incrementan las ganancias por unidad de volumen de agua utilizado.

3. OBJETIVO GENERAL.

Optimizar el uso del agua a través de la interrelación de dos actividades productivas “acuicultura y agricultura”, con el propósito de disminuir las presiones ambientales e incrementar las ganancias por unidad de volumen de agua utilizado en la Ciénega de Chapala.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Reutilizar el agua derivada de un sistema de producción de peces en el riego de un sistema de producción agrícola con dos cultivos.
2. Evaluar si existe un enriquecimiento de nutrientes (N y P) en el suelo de los cultivos trigo y chile, mediante la utilización de agua proveniente de estanques acuícolas.
3. Determinar experimentalmente si existe un incremento en la producción del sistema agrícola al poner en práctica la Agroacuicultura en comparación con un tratamiento testigo y la aplicación tradicional de fertilizantes inorgánicos.

4. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a los estudios realizados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en México el 70% del agua disponible es empleada en la agricultura. De la cantidad de agua asignada para el cultivo en la Ciénega de Chapala a través del distrito de riego, solamente se aprovecha el 38% y lo demás se pierde por carecer de infraestructura adecuada y la poca tecnología utilizada en los sistemas de riego.

En la Ciénega de Chapala un agricultor requiere aproximadamente 6,912 m³ de agua por hectárea para cultivo de maíz, de los cuales solamente se aprovechan el 27.5% (1,900.8 m³) y el resto se desperdicia por el método de riego aplicado (inundación) volumen que se aprovecharía para regar 2.5 ha más si se tecnificara el sistema de riego. La importancia de la unificación de las dos alternativas productivas es que el volumen de agua utilizado en el riego de una hectárea de trigo en la Ciénega de Chapala es suficiente para implementar un sistema de producción de peces de manera semi-intensiva y posteriormente el subproducto de este sistema sea utilizado para el riego de diversos cultivos.

La integración de cultivos como la agro acuicultura ofrece varias ventajas ya que la intensificación del sistema de producción de peces dependerá de los requerimientos de agua de las plantas utilizadas en sistema de producción agrícola, el enriquecimiento del agua de los estanques con algunos nutrimentos derivados de compuestos nitrogenados provenientes de excretas y restos de alimento así como materia orgánica viva (bacterias y algas). Además la disminución en los costos de operación en el sistema de producción agrícola convencional, debido a que las cantidades de fertilizantes inorgánicos aplicados al sistema disminuyen lo que desde un punto de vista ecológico es favorable al provocar menor contaminación a los ecosistemas acuáticos.

Los sistemas integrados a través de la agroacuicultura ofrecen oportunidades para incrementar la productividad, la rentabilidad y la eficiencia de utilización del recurso

agua, es por ello que el propósito de este trabajo, es optimizar el uso de este elemento ya que con el mismo volumen de agua se desarrollan ambas actividades productivas, de esta manera se incrementan las ganancias obtenidas por metro cúbico de agua utilizado, además proporciona nutrimentos primarios para las plantas como nitrógeno y fósforo, reduciendo la cantidad de fertilizantes inorgánicos utilizados en los sistemas de producción agrícolas y como consecuencia menor eutrofización de los sistemas acuáticos.

5. ANTECEDENTES

5.1 PROBLEMÁTICA DEL AGUA

Debido a la creciente explosión demográfica la escasez y deterioro la calidad del agua está afectando la salud y el bienestar de la población en países en vías de desarrollo (Guhl, 2006). Actualmente, 31 países de África y el Medio Oriente, enfrentan severas limitaciones con relación a este vital líquido.

La región de América Latina y el Caribe es muy rica en recursos hídricos. Los ríos Amazonas, Orinoco, Sao Francisco, Paraná y Magdalena transportan más del 30 % del agua superficial continental del mundo. Con el 12% del área terrestre y 6% de la población, la región recibe alrededor del 27% de la esorrentía total, la mayor parte concentrada en las cuencas del Amazonas. Sin embargo, el abastecimiento de recursos hídricos de la región presenta una importante variabilidad entre sub-regiones y localidades, así como en términos estacionales.

Dos terceras partes de la región se clasifican como áridas o semiáridas, las cuales incluyen grandes partes del centro y norte de México, el nordeste de Brasil, Argentina, Chile, Bolivia y Perú. La Isla de Barbados, en el Caribe, está entre los países más áridos en el mundo, y los estados isleños de esta sub-región tienen una dotación de recursos hídricos por habitante considerablemente inferior a los de otros grupos isleños en el mundo (Gallardo, 2002).

Durante la última década, los problemas ambientales relacionados con el agua han aumentado tanto en zonas urbanas como rurales. Se siguen construyendo viviendas en áreas sensibles y con altas pendientes en zonas con acuíferos. Los recursos de agua dulce se ven dañados al mismo tiempo que aumenta la demanda por el agua. Por otro lado, el uso de agua contaminada para beber y bañarse, propaga las enfermedades infecciosas como el cólera, tifoidea y gastroenteritis (ONU, 2006; OPS/OMS, 2005).

México presenta características geográficas e hidrológicas muy heterogéneas, lo que limita drásticamente la disponibilidad de agua, tanto superficial como subterránea. Dos tercios de su territorio son áridos o semiáridos; en estas zonas se concentra 77 por ciento de la población, pero únicamente presenta 28 por ciento del escurrimiento natural y genera 84 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB). En el aspecto hidrológico los contrastes son notorios, ya que en algunas regiones administrativas del sureste llueve 10 veces más que en las zonas áridas del norte del país. Las situaciones anteriores propician la competencia por el agua, su contaminación y la sobreexplotación de los mantos acuíferos.

Como una de las alternativas factibles para conservar el recurso se tiene el fomentar el uso eficiente del agua en la producción agrícola. Incrementar el uso de agua residual tratada y su recurso son alternativas viables para aumentar la disponibilidad del agua en las regiones administrativas donde se presenta una escasez crítica o extrema. Los centros urbanos generaron en el año 2000 un gasto total de 252 metros cúbicos de aguas residuales por segundo, mientras la industria aportó 171 metros cúbicos por segundo de aguas residuales. Ambos gastos podrían usarse para satisfacer las demandas de usos que no requieran agua potable.

Finalmente, la población podría contribuir al incremento de la disponibilidad del agua a través de una reducción en la dotación de agua potable que utiliza diariamente. En promedio, el mexicano utiliza una dotación de 262 litros por habitante por día para satisfacer sus necesidades hídricas; los países industrializados con programas de concientización de uso eficiente y cobro de tarifas reales están reduciendo drásticamente las dotaciones. La meta del programa que ha establecido Alemania, país que tiene actualmente una población de 83 millones de habitantes, es alcanzar una dotación de 120 litros por habitante por día para 2015.

5.2 LA AGRICULTURA IRRIGADA

De acuerdo a cifras de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), solo entre el 15 y 50% del agua extraída para la agricultura de regadío llega a la zona de cultivos. La mayor parte se pierde por absorción de fugas de las cañerías, o por evaporación antes de llegar a los campos de cultivo. Si bien parte de esta agua perdida retorna a las corrientes de agua o acuíferos, de donde puede volver a extraerse, su calidad se ha degradado por obra de plaguicidas, fertilizantes y sales que se escurren por el suelo (Vázquez, 2009).

La agricultura como sistema de producción de alimentos es el consumidor más grande de agua en el mundo, con cerca de 70% de todas las extracciones de agua dulce. En los países en los que se depende del agua subterránea para la irrigación, el exceso de extracción de agua está provocando que los niveles freáticos de agua dulce estén descendiendo a un ritmo muy alarmante. Los principales problemas que caracterizan la utilización del agua subterránea son: agotamiento debido a un exceso de extracción de este recurso, las inundaciones y la salinización causadas por un drenaje insuficiente y, finalmente, la contaminación debida a las actividades intensivas agrícolas, industriales y de otro tipo.

Los sectores de riego enfrentan una serie de problemas que van desde bajo nivel de modernización y tecnificación de la infraestructura de riego, los métodos que predominan es por gravedad por inundación de surcos, esto se traduce en poca eficiencia en el uso del agua, además no existe micro medición a nivel parcelario, ni tampoco se cobran derechos por el uso del agua, las cuotas para la operación y conservación son insuficientes para cubrir los costos requeridos, deficiencia en equipos de bombeo, sin dejar a un lado la contaminación excesiva en varias fuentes de agua superficiales, por el vertido de agua residual sin tratar de origen municipal, además de uso incontrolado de agroquímico e insuficiente capacitación técnica para la operación, conservación y administración eficiente de los módulos de riego por lo que en promedio se considera que la eficiencia global promedio en los distritos es de 33.5% (CNA, 2009).

Paradójicamente, aun cuando llegue en cantidad suficiente a las tierras agrícolas, el agua de riego puede estropear gran parte de las tierras a menos que se drene de manera apropiada. Por lo que al aplicar técnicas de riego deben adecuarse a las necesidades de cada cultivo y región. Durante los últimos años, el riego por goteo, el riego por aspersión y el fertirriego se han posicionado como algunos de los sistemas agrícolas más eficientes en el ahorro de agua (Vázquez, 2009).

Aunado a lo anterior, es importante considerar el tipo de cultivo, con el uso de variedades mejoradas, intervalos de riego de acuerdo con los requerimientos de agua en cada una de las etapas fenológicas del cultivo, en cuanto al uso del suelo, es necesario efectuar las prácticas recomendadas de preparación de terrenos, asimismo, dependiendo de la capacidad de infiltración será el tiempo de riego de agua.

No podemos hablar de un sistema de tecnificación ideal para la agricultura en México, ya que las condiciones varían. El Subdirector General de Infraestructura Hidroagrícola de CONAGUA, menciona que existen zonas donde la simple nivelación del terreno favorece el manejo del agua y en algunas ocasiones las técnicas de cultivo o la conducción entre las parcelas permiten un manejo más eficiente del agua. En base a ello se puede ir sofisticando, desde riegos a baja presión a riegos de alta presión, con distintas técnicas con base en los cultivos, la zona, la presión del agua que tenga de manera natural o si los usuarios están de acuerdo en que se utilicen sistemas de bombeo para incrementar la presión de agua (Rodríguez, 2008).

5.3 ACUACULTURA

La acuicultura a nivel mundial se reconoce como una estrategia importante para lograr alimentos proteicos y que permiten el desarrollo de las poblaciones menos favorecidas, ya que contribuye a la seguridad alimentaria como fuente directa de alimentos nutritivos y accesibles además de ser una actividad productiva

generadora de ingresos y de empleos. La producción de peces tiene un gran interés nutricional y unas ventajas claras sobre las carnes: tienen un escaso valor calórico porque el aporte de grasas totales es muy bajo y sin embargo, su densidad proteica es sólo ligeramente inferior a la de las carnes. El aporte de colesterol es bajo y su mayor cualidad reside en la abundancia de los ácidos grasos poliinsaturados, fundamentalmente los de cadena larga, conocidos genéricamente como omega 3, a los que se les atribuye cualidades protectoras frente a enfermedades cardiovasculares (Martínez y Koning, 2005)

La FAO proyectó que, para satisfacer las necesidades de la población humana del 2025, la producción de peces total debería aumentar a 165 millones de toneladas métricas. Este aumento significativo no puede provenir de las capturas de especies silvestres sin causar serios daños a los ecosistemas marinos, lagos y ríos. En consecuencia, el aumento en la producción de alimentos de origen acuático debe necesariamente provenir de un aumento en la eficiencia en la producción de estas especies cultivadas. Por lo que es necesario, para satisfacer las necesidades futuras, expandir la capacidad productiva a un amplio rango de recursos acuáticos incluyendo algas, peces, moluscos y crustáceos. Esto sólo se puede lograr a través del uso más intensivo del recurso agua basados en un sólido conocimiento de la biotecnología de cultivo de las especies cultivadas.

Si bien el desarrollo de la acuicultura a nivel mundial se está realizando a través de sistemas de explotación semi intensivos e intensivos, se ha considerado de manera general, que se requerirá del suministro de cantidades considerables de fertilizantes y alimentos. Por lo que no es de sorprender que hoy en día, la nutrición de peces se haya convertido en una de las áreas de investigación y desarrollo más importantes dentro la acuicultura (Tacon, 1989).

La especie más ampliamente utilizada en cultivos extensivos e intensivos es la tilapia *Oreochromis niloticus*, debido principalmente a su alta tolerancia a densidades elevadas, rápido crecimiento y presentar buena resistencia a las enfermedades infecciosas (Fouz *et al.*, 2002). La alimentación de la tilapia es eficiente con fauna y flora natural, además, puede utilizarse alimento

complementario con el propósito de incrementar el crecimiento y el peso de los organismos, aumentando el éxito de los sistemas de producción. La intensificación del cultivo de tilapia requiere el desarrollo de alimentos convenientes para complementar y suplementar la alimentación en tanques y lagunas. El valor nutritivo del alimento depende de la composición nutrimental de cada uno de sus ingredientes, así como de la capacidad del animal para digerir y absorber los nutrientes (Köprücü y Özdemir, 2005).

La acuicultura como una actividad económica se asemeja a la agricultura, ya que varias de sus tareas son comunes, tales como la siembra, la fertilización, la prevención y el control de enfermedades. La enorme coincidencia que existe entre ambas actividades, permite que los ejidatarios y campesinos se adapten fácilmente a este tipo de proyectos productivos. En contraste, los pescadores están acostumbrados a cosechar, convirtiéndose así por la necesidad económica en depredadores cautivos, lo que ha afectado sensiblemente la producción pesquera en numerosas lagunas costeras y en cuerpos de agua epicontinentales (Arredondo y Lozano, 2003).

5.4 HISTORIA DE LOS SISTEMAS INTEGRADOS

Tanto la evidencia botánica como la lingüística apuntan a que el origen del cultivo del arroz cultivado en un arco a lo largo de Asia continental que se extiende de la India oriental a través de Myanmar, Tailandia, la República Popular Democrática Lao, el norte de Vietnam y China del sur. Aunque la evidencia más antigua del cultivo del arroz viene de Myanmar y Tailandia, el cultivo húmedo del arroz que incluye los ecosistemas de los arrozales de tierras bajas alimentados por las lluvias, susceptibles de inundaciones y cultivos irrigados que juntos llegan al 87 por ciento, mismos que involucran el encharcado y trasplante de las plantas germinadas de arroz fue desarrollado en China. En contraste con otras áreas, la historia del arroz en los valles fluviales y las áreas bajas en China es más larga que su historia como una cosecha de zonas altas. Puede asumirse que una vez que el cultivo de arroz progresó más allá de los cultivos en las áreas despejadas de

bosque al de campos inundados con agua estancada, los peces pudieran haber sido un producto adicional.

Los peces y otros organismos acuáticos habrían entrado junto con el agua de inundación, siendo el campo del arroz su hábitat temporal, para posteriormente crecer y reproducirse durante la duración del ciclo de cultivo del arroz hasta convertirse en un producto adicional del campo de arroz, bienvenido por los granjeros (Halwart y Modadugu, 2006).

Nunca podrá saberse exactamente cuándo o dónde se inició la práctica de introducir, deliberadamente desde el inicio, a los peces en los campos de arroz. Sin embargo, se reconoce ampliamente que la acuicultura inició desde épocas lejanas en China, donde el cultivo de la carpa común (*Cyprinus carpio*) en estanques empezó al final de la Dinastía Shang (1401-1154 a. C.) (Li, 1992), se supone que los cultivos de arroz con peces introducidos deliberadamente también empezaron en China. Los archivos arqueológicos y escritos dan evidencia de cultivos de arroz y peces desde hace más de 1,700 años en China y la práctica puede haberse originado cuando criadores de peces soltaban sus sobrantes de crías en los campos de arroz (Li, 1992; Cai *et al.*, 1995).

Los modelos hechos en arcilla de campos de arroz con figurillas de carpa común, pez dorado (*Carassius carassius*), carpa hervívora (*Ctenopharyngodon idella*), y otros animales acuáticos datan de la Dinastía Han tardía (25-220 d. C.) (Bray, 1986, citado en FAO, 2000). El registro escrito más antiguo data de la Dinastía Wei (220-265 d. C.) que menciona “un pez pequeño con escamas amarillas y cola roja, criado en los campos de arroz del Condado de Pi al nordeste de Chendu, en la Provincia de Sichuan, que puede usarse para hacer salsa”. Se piensa que el pez mencionado es la carpa común. El cultivo de arroz y peces fue descrito por primera vez por Liu Xun (hacia 889-904 d. C.) (Cai *et al.*, 1995) quién escribió:

“En Xin Long, y otras prefecturas, la tierra de las laderas están erosionadas pero las áreas cercanas a las casas han sido convertidas en campos de cultivo. Cuando vienen las lluvias primaverales, el agua se acumula en los campos alrededor de las

casas. Entonces se sueltan las crías de carpa herbívora en los campos inundados. Uno o dos años después, cuando los peces han crecido, ya han devorado las raíces de las hierbas. Este método no sólo fertiliza los campos, sino también produce peces. Entonces, el arroz se puede plantar sin el problema de las malezas. Ésta es la mejor manera de cultivar.”

Es posible que la práctica del cultivo de arroz y peces se desarrolló independientemente en India y otras partes del “arco asiático” del cultivo húmedo de arroz, pero no fue documentado ni difundido. Aparte de ser descrita como “una práctica secular” existen pocos estimados de por cuánto tiempo el cultivo de arroz y peces ha sido realizado fuera de China, aunque algunos autores sugieren que este cultivo fue introducido en el Sudeste de Asia hace 1,500 años desde la India (Tamura, 1961; Coche, 1967; Ali, 1992). Se piensa que el cultivo integrado de arroz y peces ha sido llevado a cabo desde hace más de 200 años en Tailandia (Fedoruk y Leelapatra, 1992). En Japón e Indonesia, el cultivo de arroz y peces se desarrolló a mediados del siglo XVIII (Kuronoma, 1980; Ardiwinata, 1957). Un análisis del cultivo de arroz y peces mostró que a mediados del siglo XIX éste se realizaba en 28 países de seis continentes: África, Asia, Australia, Europa, América del Norte y América del Sur (FAO, 1957).

Coche (1967) señala que en la mayoría de los países, los cultivos de arroz y peces no involucraba la introducción deliberada o selectiva de los peces y que las especies cultivadas y su densidad media dependían de lo que entraba junto con las aguas de inundación. Así, las especies normalmente cultivadas reflejaban lo que existía en las aguas que inundaban o irrigaban los campos de arroz. Aparentemente, el cultivo de arroz y peces no se extendió a partir de un punto focal sino que pudo haberse desarrollado independientemente en varios países.

Las sociedades primitivas, cazadoras y recolectoras se encontraban integradas a los ciclos de materiales y el flujo de energía, sin que ejercieran modificaciones ambientales de significancia. En muchas de estas comunidades, los organismos acuáticos formaban ingrediente de importancia en la dieta, como en la Cuenca de México en donde hace 6,000 años se consumían charales, pescado blanco y

acociles entre otros (Niederberger, 1987; Serna, 1988). Todavía en la actualidad existen algunas comunidades que realizan una estrategia de apropiación de este tipo (Kemp, 1971).

Al parecer, el sistema de explotación múltiple se encuentra entre los primeros tipos de organización en la agricultura, el que se caracteriza por el empleo de una amplia diversidad de especies vegetales, una integración del hombre con los recursos naturales y un estilo de vida que giraba alrededor de la producción de alimentos de modo que los cultivos múltiples constituyeron, a partir de que el hombre se vuelve sedentario, las raíces históricas de las civilizaciones (Francis, 1999).

En este contexto, la acuicultura presenta una asincronía con respecto al cultivo de plantas y animales terrestres con una diferencia de varios miles de años para Egipto y China. Este retraso puede estar relacionado con las dificultades que representa para el hombre la manipulación del ciclo de vida de organismos acuáticos y que no representan en el caso de las plantas y animales terrestres de modo que las evidencias más antiguas sobre sistemas agrícolas y que datan de hace 10,000 años, se encuentran en varias partes del mundo, con centros y áreas de dispersión y que alcanzaron en algunos siglos gran complejidad, la explotación de los organismos acuáticos permaneció en el nivel de captura. Ejemplo de esto lo constituye el sistema de chinampa en la Cuenca de México (Rojas, 1985).

5.5 PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN/m³

De acuerdo con estudios llevados a cabo por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA, 2002), únicamente se aprovecha 40 por ciento del agua que se utiliza en el riego agrícola. En 2000 se utilizó para la producción agrícola un gasto de mil 793 metros cúbicos por segundo, y por uso ineficiente se perdieron mil 76 metros cúbicos por segundo debido a problemas de azolve e infiltraciones en las redes de canales que abastecen el agua, por exceso de láminas de riego, por uso de tecnología obsoleta y por nivelación inadecuada de parcelas, entre otros factores. El gasto de mil 76 metros cúbicos por segundo podría utilizarse para abastecer de

agua potable a la población, o para satisfacer las actividades económicas que utilicen agua como insumo.

En el periodo 1994-2006, los distritos de riego produjeron en promedio 1.94 millones de toneladas/año de semillas. Los principales cultivos son el maíz, trigo y sorgo, que cubren el 40% de la superficie cosechada. Comparada con el volumen empleado, se tienen valores de productividad que van desde los 0.32 kg/m³ hasta los 2.4 kg/m³, siendo el promedio para el estado de Michoacán es de 0.82 kg/m³; muy inferior al nacional que es de 1.3 kg/m³. Los Distritos de Riego con mejor productividad son: 099 Quitupan-La Magdalena, 020 Morelia-Queréndaro, 024 Ciénega de Chapala (Estadísticas de los módulos de riego, CONAGUA 2006).

Una de las funciones principales del agua es el servicio ambiental en la producción de alimentos, tales como frutos o cultivos sino además de peces, para el caso de la Ciénega de Chapala un agricultor requiere de alrededor de 27,980 m³ para regar una unidad productiva (4 ha) de maíz, en el caso de la acuicultura el requerimiento anual de agua por hectárea incluye la cantidad inicial de 15,000 m³ demandada para llenar el estanque y la cantidad que se requiere para compensar las pérdidas por filtración y evaporación, por lo que el volumen de agua utilizado en la agricultura en esta región permite establecer un sistema integrado con acuicultura utilizando el mismo volumen de agua.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El establecimiento del experimento se llevó a cabo en el invernadero que forma parte de las instalaciones del CIIDIR IPN unidad Michoacán ubicado en la ciudad de Jiquilpan, al noroeste del estado de Michoacán y delimitado por los paralelos 19°52'54" y 20°03'02" de latitud norte y los meridianos 102°39'33" y 102°56'16" de longitud oeste.

6.2 CULTIVO DEL TRIGO

Para establecer el cultivo de trigo se prepararon 48 macetas de cinco kilogramos de capacidad, mismas que se llenaron con una mezcla homogénea de suelo de la región (vertisol) y de arena de tezontle en una proporción de 50/50 en volumen. Se estableció un diseño en bloques completamente al azar comparando cuatro tratamientos



Figura 1.- Establecimiento del experimento

y cuatro repeticiones cada uno (Figura 1), mismos que se describen a continuación:

- 1) Suelo de la región (vertisol) + arena roja + agua potable. (**AT-testigo**).
- 2) Suelo de la región (vertisol) + arena roja + fertilización química al 100% (N = 90, P = 60, K = 60) + agua potable. (**AFT**).

3) Suelo de la región (vertisol) + arena roja + fertilización química al 50% (N = 45, P = 30, K = 30) + agua del estanques acuícola. (**AET**).

4) Suelo de la región (vertisol) + arena roja + agua del estanque acuícola. (**ET**)

Para el establecimiento del sistema de producción de trigo se consiguieron semillas certificadas de la variedad Bárcenas S2002 en las forrajeras de la localidad. Se colocaron cuatro semillas en cada una de las macetas a una profundidad de dos cm y una distancia de diez centímetros una de otra (Figura 2); durante el desarrollo del cultivo en la primer



Figura 2.- Siembra de trigo

semana se regó diariamente con la finalidad de mantener la superficie de la semilla húmeda y favorecer el proceso de germinación, posteriormente el riego se realizó cada tercer día. Al final del experimento se registraron las siguientes variables agronómicas: altura de la planta y tamaño de la espiga utilizando un flexo metro, diámetro del tallo medido con un vernier, producción de grano con una balanza digital Ohaus CS2000, para valorar la materia seca las plantas se deshidrataron en el mismo invernadero durante 19 días a temperatura ambiente y se pesaron diariamente hasta obtener peso constante y análisis de suelo.

6.3 CULTIVO DE CHILE

Las semillas utilizadas para establecer este experimento fueron de chile serrano de la variedad Tampico-74, mismas que fueron colocadas en charolas de unicel (poliestireno expandido) para su germinación; a las seis semanas (Figura 3) la plántula alcanzó una altura de 5 cm requerida para ser trasplantadas a las macetas

y asegurar un nivel de sobrevivencia del 100% en cada uno de los tratamientos siguientes:

- 1) Suelo de la región (vertisol) + arena roja + agua potable. (**ACH-testigo**).
- 2) Suelo de la región (vertisol) + arena roja + fertilización química al 100% (N = 90, P = 60, K = 60) + agua potable. (**AFCH**).
- 3) Suelo de la región (vertisol) + arena roja + fertilización química al 50% (N = 45, P = 30, K = 30) + agua del estanques acuícola. (**AECH**).
- 4) Suelo de la región (vertisol) + arena roja + agua del estanque acuícola. (**ECH**).

Las variables agronómicas registradas al final del experimento fueron: altura de planta, diámetro de tallo, producción y materia seca.



6.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA UTILIZADA EN AMBOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Tanto el agua potable y la que provenía de los estanques que fueron utilizadas para regar los dos sistemas de producción fueron caracterizadas con un HYDROLAB[®], que es un equipo multiparamétrico que registra los siguientes

parámetros: conductividad eléctrica (μS), salinidad (%), amonio (ppm), sólidos totales disueltos (ppm), pH y concentración de oxígeno disuelto (ppm), porcentaje de oxígeno disuelto, temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Los fosfatos y fósforo se midieron con los métodos de HANNA INSTRUMENTS (C99 multiparamétrico Photometer Bench).

6.5 SISTEMA DE RIEGO

La intensificación del modelo de producción acuícola está relacionada con el requerimiento específico de agua de la planta utilizada en el sistema de producción agrícola, en este caso se utilizó una gramínea (trigo) y una hortaliza (chile) la cual tienen un requerimiento de agua distinta (27.1 y 31.5 l/maceta) respectivamente, durante el ciclo de cultivo; esta necesidad hídrica establece la capacidad de carga del sistema de producción y como consecuencia el grado de intensificación

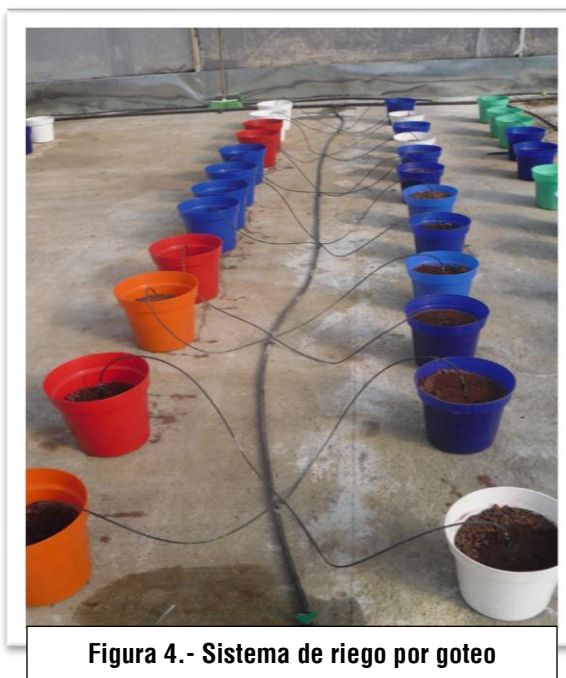


Figura 4.- Sistema de riego por goteo

del sistema de producción de peces, reflejándose esta en una mayor o menor densidad de peces por metro cúbico en los estanques, ya que a mayor demanda de agua por el sistema de producción agrícola se incrementa el número de recambios del estanque y las condiciones de calidad del agua mejoran, dando como consecuencia la intensificación de producción acuícola. Cabe señalar que para ambos cultivos se utilizó un sistema de riego por goteo ya establecido en el invernadero (Figura 4).

6.6 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL SUELO

El análisis fisicoquímico del suelo se realizó en el laboratorio de suelos del CIIDIR-Michoacán mediante las siguientes metodologías.

6.6.1 Materia Orgánica (método de Walkley y Black).

Principio y aplicación

La determinación de materia orgánica del suelo se evalúa a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe_3^+ y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo. En los suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.298 (1/0.77).

Cálculos

$$\%C \text{ Orgánico} = \left(\frac{B - T}{g} \right) (N)(0.39)mcf$$

Donde:

B = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (ml)

T = volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml)

N= Normalidad exacta del sulfato ferroso (valorar por separado al momento de analizar las muestras).

g = Peso de la muestra empleada (g)

mcf = factor de corrección de humedad.

6.6.2 Determinación de pH de suelo medido en agua

Todas las transformaciones (bio) químicas en el suelo están influenciadas por la actividad de los protones en la solución del suelo, la cual es usualmente dada como el valor de pH. La estructura y la actividad de la comunidad microbiana del suelo

están gobernadas por el pH. Este parámetro es básico y necesario para los microbiólogos al trabajar con muestras de suelos.

Principio

Método electrométrico para la determinación del pH en muestras de suelo en una solución de agua pura. La evaluación electrométrica del pH se basa en la determinación de la actividad del ion H mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H. En el caso de los suelos el pH se mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua 1:2.

El pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios de suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo. La determinación del pH es afectada por varios factores tales como: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, la concentración de sales en la solución, la relación suelo: solución, la presión parcial de bióxido de carbono y el efecto de la suspensión asociado con el potencial de unión, etc.

6.6.3 Medición de la conductividad eléctrica del extracto de saturación

Principio y aplicación

Método para la determinación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo por medición electrolítica y una celda de conductividad como sensor.

La conductancia eléctrica (C) se determina a partir de los valores del voltaje (V) y la corriente (I). $C = \frac{I}{V}$

La conductividad eléctrica (CE) se calcula multiplicando la conductancia medida por la constante de la celda (L/A)

$$CE = C * \left(\frac{L}{A}\right)$$

Donde:

L = longitud de la columna de líquido entre los electrodos (cm)

A = área de los electrodos (cm³)

La celda de conductividad es la parte del circuito donde entra en contacto con la muestra. La conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE) se reporta en decisiemens por metro (dS m⁻¹).

6.6.4 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (cic)

Principio y aplicación

El método para la determinación consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice, el ion amonio; lavado del exceso de saturante con alcohol; desplazamiento del catión índice con potasio y determinación del amonio mediante destilación. El amonio se emplea como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en los suelos y porque no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal que se usa asegura una completa saturación de la superficie de intercambio y como está amortiguada a pH 7.0, se logra mantener un cierto valor de pH. El lavado con alcohol pretende desplazar el exceso de saturante y minimizar la pérdida del amonio adsorbido.

6.6.5 Determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos.

Principio y aplicación

Método para la determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos. La textura del suelo define como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas. Proporciona una idea general de las propiedades

físicas del suelo. Su determinación es rápida y aproximada. En general el problema es separar los agregados y analizar sólo las partículas. En el presente método se elimina la agregación debida a materia orgánica y la floculación debida a los cationes calcio y magnesio. No se eliminan otros cementantes como carbonatos. El tiempo de lectura se ha escogido de 40 segundos para la separación de partículas mayores de 0.05 mm (arena) y de 2 horas para partículas de diámetro mayores de 0.002 mm (limo y arena). Estos límites han sido establecidos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos y se han usado para construir el triángulo de texturas.

6.6.6 Determinación de la capacidad de retención de agua (cra).

Principio y aplicación

Una cantidad excesiva de agua se filtra a través de una cantidad conocida de suelo, el volumen filtrado se determina así como el volumen de agua que queda en el suelo se calcula.

Las medidas microbiológicas muchas veces se realizan después de ajustar del contenido de agua a un valor constante para todos los suelos o preferiblemente o de manera individual con la capacidad de retención de agua definida como porcentaje. Esto asegura las condiciones similares para los microorganismos en lo que se refiere a la disponibilidad de agua, la cual es crucial para el crecimiento y actividad metabólica de dichos microorganismos.

6.6.7 Determinación de la humedad

Principio

El peso de una muestra de suelo se determina en su estado de humedad y de nuevo después de secarlo a la estufa, y la diferencia atribuida a la pérdida de agua la cual es calculada y relacionada con la humedad del suelo.

$$\% \text{ Humedad} = \{(Ph-Ps)/Ph\} * 100$$

$$\% \text{ Peso seco} = (Ps/Ph) * 100$$

Ph: peso húmedo

Ps: peso seco

6.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico y la comparación de promedios entre los tratamientos y el testigo se realizaron por medio de un análisis de varianza y la prueba de Tukey con el programa Statistical Analysis System (SAS Institute, 1988). Se empleó el arreglo factorial de dos vías con la medida de disimilitud de Bray-Curtis para esta prueba (McCune & Mefford, 2006).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Características Fisicoquímicas Del Agua Potable y Agua de los Estanques

Los resultados de los análisis del agua potable y la del estanque, utilizados para el riego de trigo y chile se describen en la Tabla 1. Uno de los principales factores a considerar en la calidad del agua para riego es la presencia de sales. Los suelos contienen sales solubles que provienen de la descomposición de las rocas, y también de las aguas utilizadas para el riego y de las aguas provenientes del subsuelo (Aguilera y Martínez, 1996). Considerando los valores registrados en el agua de desecho de los estanques se puede deducir que tanto la salinidad como la conductividad eléctrica y pH se encuentran dentro del rango especificado para ser utilizados como agua de riego. Generalmente, a medida que se incrementa la dosis de fertilizante orgánico (sustratos sólidos), aumenta la retención de agua en el suelo, en términos de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente (Carlos, 2012).

Tabla 1 Parámetros fisicoquímicos registrados del agua potable y del estanque.

Parámetros	Agua potable	Agua de los estanques	Límites permisibles para Riego
Conductividad eléctrica (μS)	0.5765	0.907	0.750
Salinidad (‰)	0.3	0.49	0-3
Sólidos totales disueltos (ppm)	0.381	0.61	3000
pH	8.53	8.48	4.5 – 9.0
Amonio (ppm)	2.75	3.2	
Amoniaco (ppm)	3.2	4.1	
Nitratos (ppm)	10.05	18.64	

Fosfatos (ppm)	0	3	
Fósforo (ppm)	0.1	1	

7.2 VALORACIÓN AGRONÓMICA EN EL CULTIVO DE TRIGO

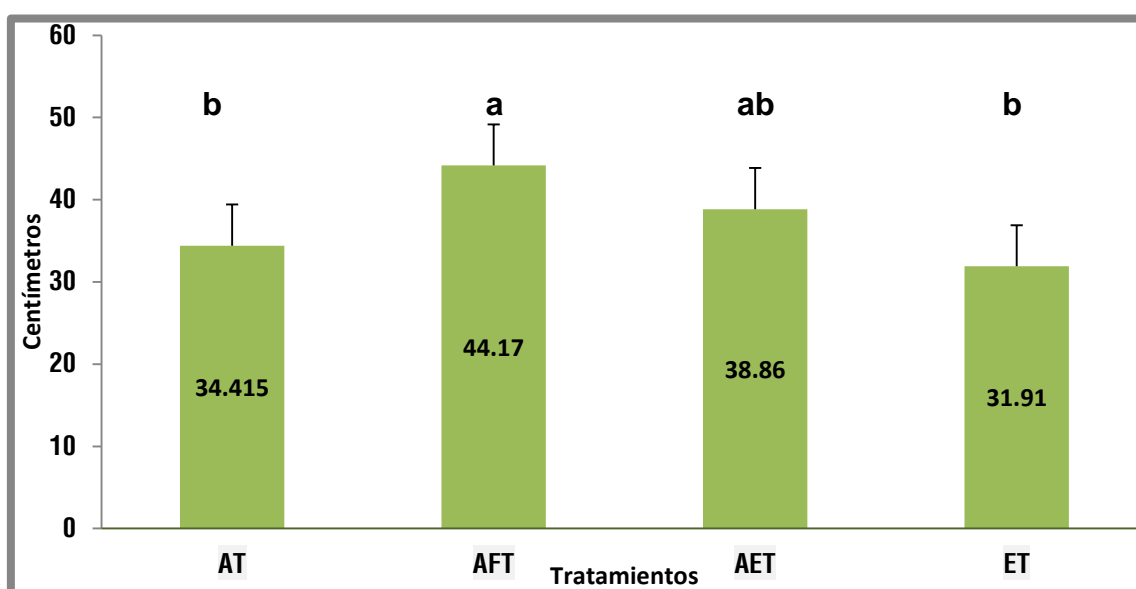
Al final del ciclo del cultivo de trigo se expresaron diferencias estadísticamente significativas en las distintas variables evaluadas, conformándose dos grupos: En el primero se incluye el mejor tratamiento (AFT) donde se le aplicó fertilizante inorgánico con el 100% de la formula (N=90, P=60, K=60), seguido del tratamiento donde se incorporó el 50% del fertilizante inorgánico y se utilizó agua del estanque para el riego (AET). El segundo grupo incorporó los tratamientos con menor efectividad y fueron aquellos donde no se utilizó fertilizante inorgánico (AT y ET).

7.2.1 ALTURA DE PLANTA

Durante los dos primeros meses del cultivo el crecimiento de las plantas presentó un comportamiento uniforme, las diferencias se mostraron en las etapas finales del cultivo. La altura promedio de las plantas de trigo que fueron fertilizadas con productos inorgánicos al 50 y 100 % alcanzaron alturas de 38.86 y 44.17 cm respectivamente. Estos tratamientos presentaron un crecimiento mayor que el testigo en un 18 y 22% (34.4 cm); con respecto al tratamiento donde el agua de riego utilizada fue el desecho de los estanques este porcentaje fue de 11 y 28% (31.9 cm). Por lo tanto, las diferencias estadísticas se dieron entre los tratamientos AFT y AET, con AT y ET (Figura 5). El-Tarabily *et al.* (2003) encontraron que la emulsión de pescado puede promover el crecimiento de las plantas de rábano como los fertilizantes inorgánicos. Comportamiento similar al que se encontró en este trabajo a pesar de que el agua utilizada para riego no aportó materia orgánica (algas) al sistema de producción agrícola por estar a la sombra dentro de un laboratorio.

Existen trabajos que indican que algunas plantas agrícolas crecen mejor si se les suministra una mezcla de NH_4^+ y NO_3^- . En especial se ha detectado que algunas plantas no sólo pueden producir mayor nivel de rendimiento sino también mayor nivel de proteína. En la literatura aparecen ejemplos de esta respuesta positiva a ambas fuentes en cultivos de maíz y trigo (Stevenson, 1982). Al regar estos cultivos con agua de los estanques tanto NH_4^+ como NO_3^- son aportados a las plantas.

Fisher *et al.*, (1977) mencionan que la asimilación de los compuestos nitrogenados es más eficiente para el desarrollo de las plantas si este se aplica de manera fraccionada, ya que se tiene la ventaja de que se aplica en el momento requerido y esto incrementa la rápida absorción del nitrógeno y por lo tanto la eficiencia de uso del mismo por las plantas es mayor. Sin embargo; debido a que en esta etapa el nitrógeno se aplica en superficie la pérdida por volatilización son mayores. Para el caso de la integración de los sistemas de producción (Agroacuicultura) la aplicación de los compuestos nitrogenados es incorporada a través del riego y de manera fraccionada.



* *Tratamientos con la misma literal no son estadísticamente diferentes.*

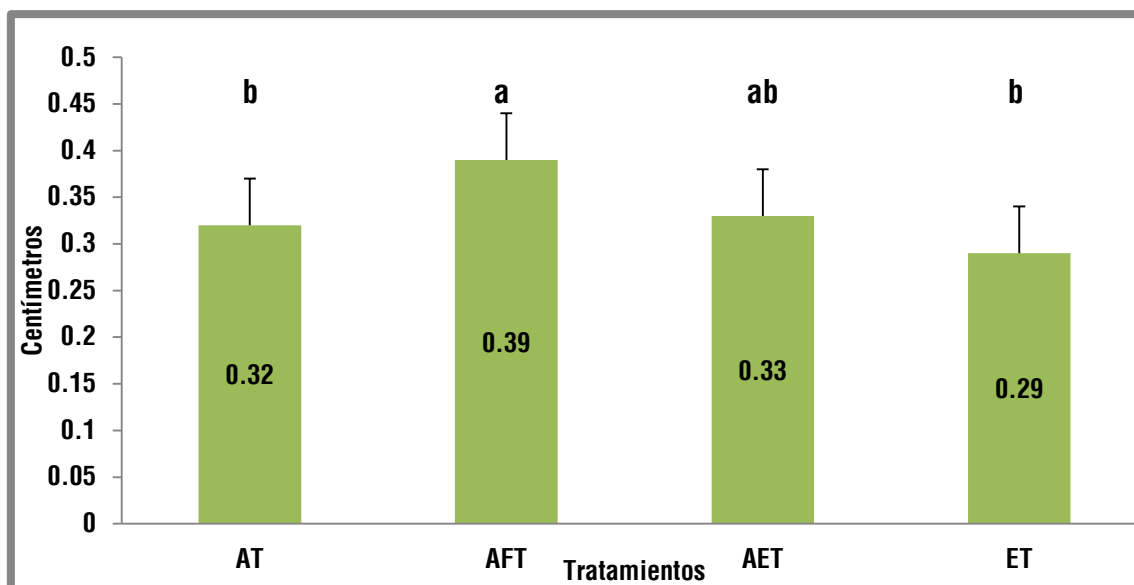
Figura 5.- Alturas promedio de las plantas del Trigo.

7.2.3 DIÁMETRO DEL TALLO DEL TRIGO

Con respecto al grosor del tallo, aunque este presenta un comportamiento similar en los diferentes tratamientos, se presentó una diferencia estadística significativa entre ellos ($F= 7.12$; $p= <0.0053$) la variable fluctuó entre 0.29 y 0.39 mm. Se obtuvo mayor grosor en las plantas tratadas con el fertilizante inorgánico AFT (Figura 6), esta variable se correlacionó con la altura de la planta; es decir, a mayor altura mayor grosor del tallo.

La respuesta de las plantas se ve favorecida por la aplicación del fertilizante inorgánico lo que beneficia la incorporación de nutrientes con mayor facilidad, comparado con los llevados en el agua de los estanques acuícolas, ya que en este caso se debe pasar por el proceso de nitrificación-denitrificación. Estas variables están relacionadas con la asimilación de elementos como el N, P y S, nutrientes esenciales para el crecimiento del trigo (Ramussen, 1996). Se encontró una diferencia estadísticamente significativa en los tratamientos.

Estudios afines indican que al irrigar con agua residual, se ha detectado una mayor emisión de óxido nitroso (N_2O) que al irrigar con agua de pozo, debido a que el agua residual aporta materia orgánica y otros nutrientes que favorecen el desarrollo de bacterias denitrificantes que pueden ayudar al proceso de denitrificación, indicando que las emisiones al ambiente pueden ser superiores a los a los $200 \text{ kg de N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ (Barton *et al.*, 1999).



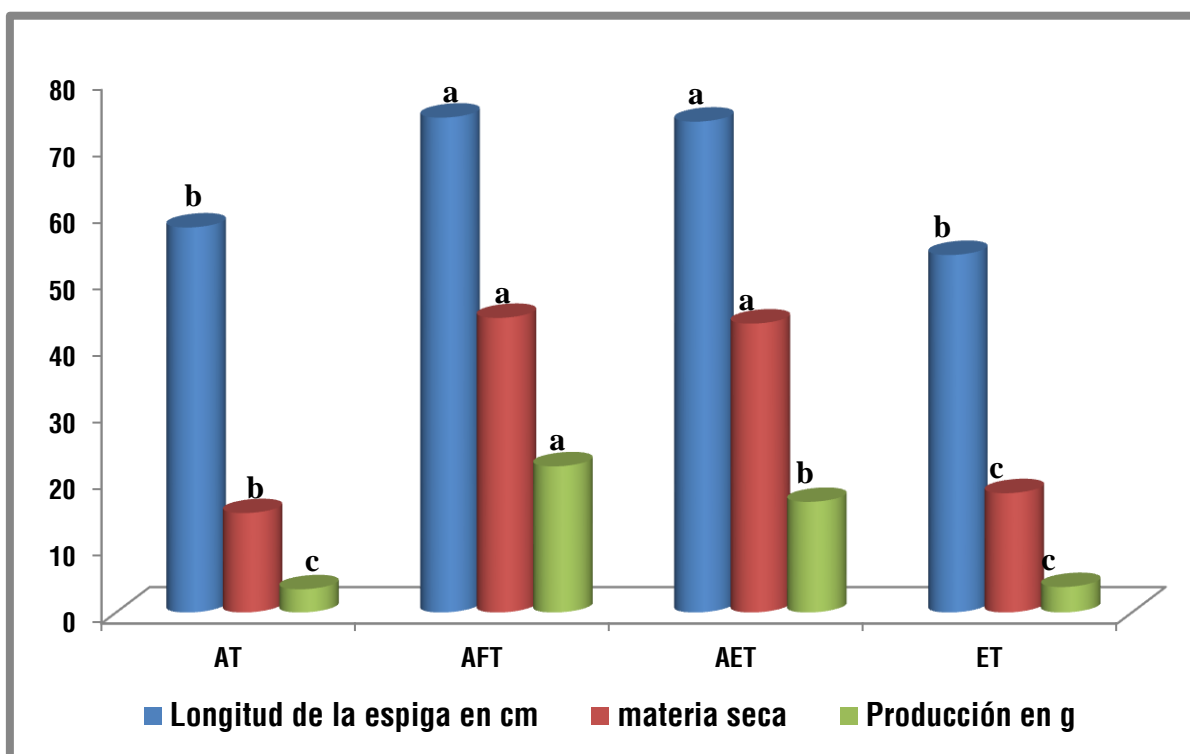
* *Tratamientos con la misma literal no son estadísticamente diferentes.*

Figura 6. Valores promedio del diámetro de tallo de las plantas del Trigo.

7.2.4 LONGITUD DE LA ESPIGA, MATERIA SECA Y PRODUCCIÓN

Con respecto a estas tres variables agronómicas, el comportamiento de las plantas de todos los tratamientos fueron similares, excepto en el que se utilizó exclusivamente agua de los estanques donde las plantas presentaron una longitud de la espiga menor en proporción que los tratamientos anteriormente señalados; sin embargo, la cantidad de materia seca fue mayor (Figura 7), lo cual se le atribuye a que las espigas de este tratamiento fueron más robustas, debido a que se tiene una disposición de los nutrientes de manera continua. Con los resultados obtenidos se observa que la disponibilidad de nitrógeno en el sistema de producción de trigo (*Triticum aestivum* L.) está relacionado directamente con el desarrollo vegetativo y rendimiento, la disminución del área foliar y una menor captación de la radiación solar y consecuentemente una menor eficiencia en la conversión de los productos de la fotosíntesis en materia seca. Con respecto a esta variable agronómica existen diferencias significativas entre los tratamientos AFT y AET y los otros dos tratamientos (AT y ET), resultados que concuerdan con los obtenidos por Abbate *et al.* (1994) y Lázaro (1996) quienes señalan que la

producción de materia seca es mayor en los cultivos donde se utiliza fertilizante inorgánico como un detonante del desarrollo vegetativo.



** Tratamientos con la misma literal no son estadísticamente diferentes.*

Figura 7.- Valores promedio de Longitud de la Espiga, Materia Seca y Producción del Trigo.

Con respecto a la materia seca se forman grupos: (1) AFT y AET, (2) AT y (3) ET entre los que se presenta diferencia estadística significativa. Por su parte, al analizar la producción obtenida con las cuatro unidades experimentales encontramos que las plantas abonadas con el 100% de fertilizante químico manifestaron diferencia estadística significancia con respecto a los demás, siendo este tratamiento el mejor (Figura 7).

Los resultados obtenidos concuerdan con lo expuesto por Núñez y Gavi (1994), quienes mencionan que ni la fineza del material ni la aplicación de altos niveles de roca fosfórica disuelta logran igualar los rendimientos alcanzados al aplicar fosfatos de alta solubilidad como el superfosfato triple en Andisoles.

Las gramíneas como en el caso del trigo requieren condiciones de altos suministros de N, en áreas abiertas cuando hay mezclas de gramíneas y leguminosas, estas

últimas tienen la capacidad de transferir parte del N fijado por ellas a las gramíneas llegando a presentar mayor biomasa que las leguminosas, ya que son especies adaptadas a competir mejor por los recursos de luz y agua esta situación inhibe el proceso de fijación simbiótica (Cramer, 1993). Resultados similares fueron obtenidos en el presente estudio ya que el tratamiento (AFT) fue mejor en todas las variables evaluadas.

La mayor disponibilidad de fósforo puede incrementar la materia seca producida por el trigo durante el macollaje, por lo tanto cualquier mejora en el rendimiento implica un incremento en la exportación de nutrientes, aún aquellos que no fueron aplicados, por lo que las fertilizaciones tienen que ser balanceadas (Suñer y Galantini, 2012). Para el caso de los tratamientos (AT y ET) el agua presenta un enriquecimiento de fósforo de 0.1 a 1 ppm lo cual se manifiesta con incremento en la cantidad de materia seca existiendo diferencia estadística significativa entre ambos.

Por otro lado Prine (1971) y Tollenaar (1977) destacan que la detención del desarrollo de las espigas ocurre durante el período inmediatamente anterior a la floración y durante ésta. La provisión de asimilados a la espiga durante el período de prefloración está asociada con el aborto de espigas (Edmeades & Daynard, 1979), considerando los resultados obtenidos con respecto a la formación de la espiga del diseño experimental se observó que se formaron menor número en los tratamientos donde no se aplicó fertilizante inorgánico (Figura 8).

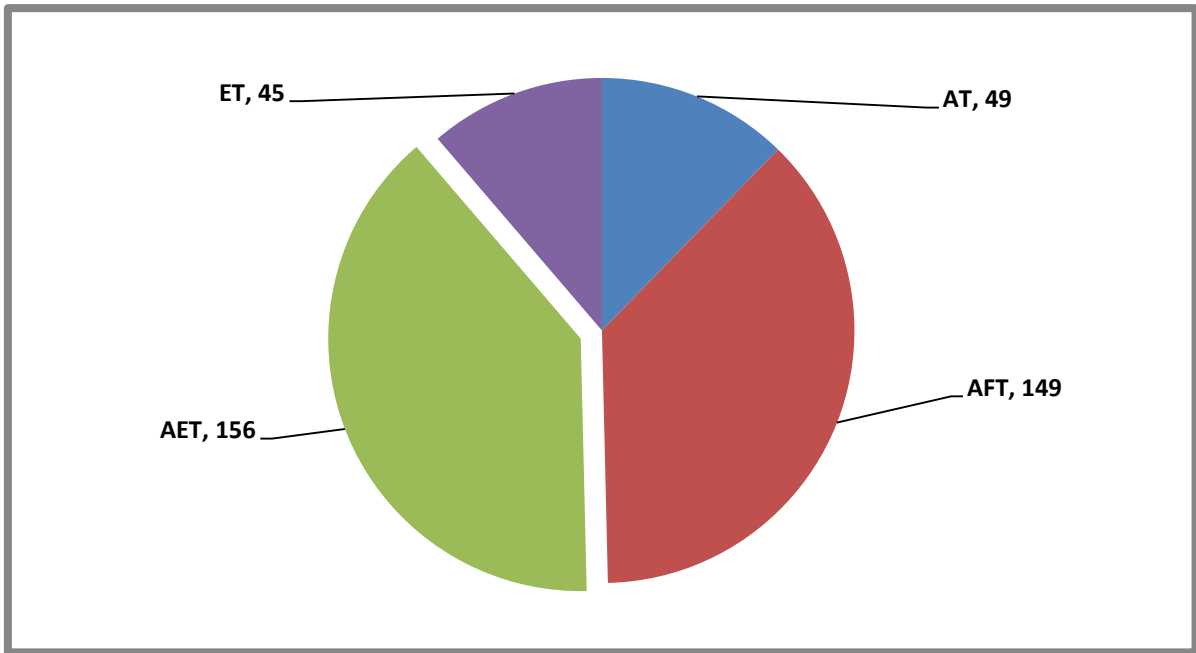


Figura 8.- Número de espigas por tratamiento

Otros estudios realizados con trigo con diferentes proporciones de fertilización y diferente composición al estudio realizado fue elaborado por Vivas *et al.* (2003), manifiestan que el trigo presenta mayor cantidad de espigas por unidad de superficie, relacionándolo con una proporción de 36 kilogramos por hectárea de azufre y no por la influencia del nitrógeno y fósforo. Lo cual puede estar relacionado a lo que Hauck (1981) menciona en resultados de sus ensayos con ^{15}N donde estima que en promedio, del 25 al 30% del N aplicado como fertilizante se pierde a través de la volatilización de NH_3 (Videla, 1994; Picone y Videla 1998).

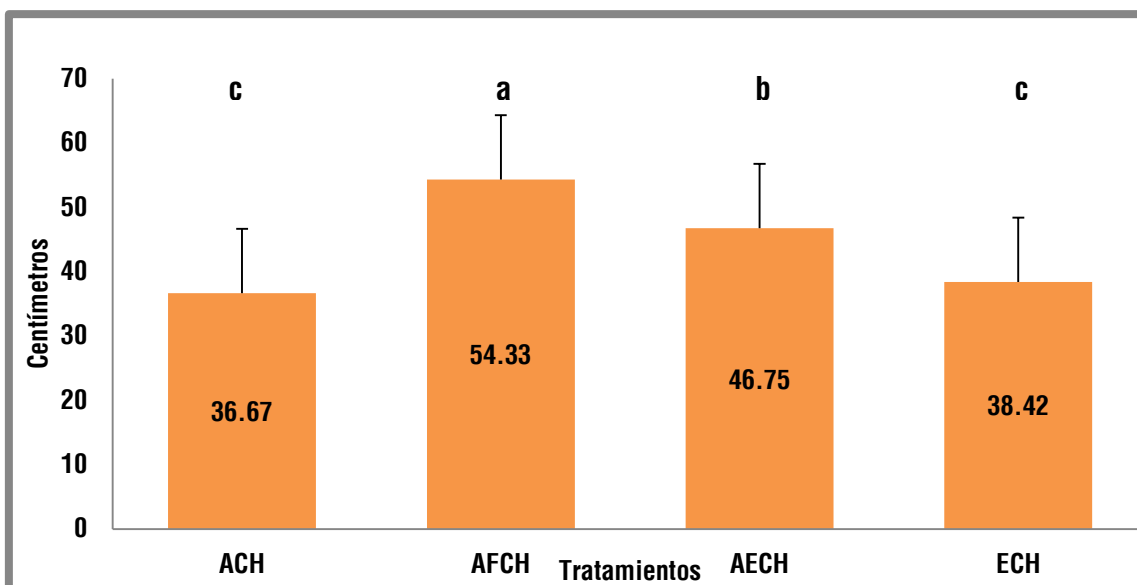
El aporte de nutrientes por el agua de estanque en los riegos correspondientes, no fue suficiente para obtener una respuesta comparable con los fertilizantes químicos, de hecho en todas las variables, se comportó de manera similar con el tratamiento testigo. Sin embargo, en el tratamiento donde se sustituyó parcialmente el fertilizante químico 50% las plantas tuvieron un comportamiento semejante que el tratamiento fertilizado al 100%, lo cual nos indica que se puede reducir hasta 50% la aplicación del fertilizante inorgánico cuando se utiliza el agua de los estanques para riego.

7.3 VALORACIÓN AGRONÓMICA EN EL CULTIVO DE CHILE

7.3.1 ALTURA DE LA PLANTA

La altura promedio de las plantas desde el inicio del cultivo se diferenció en las plantas que fueron sometidas a una fertilización inorgánica misma que presentaron mayor respuesta de crecimiento, lo cual concuerda con lo señalado por Xu *et al.* (2003), quienes encontraron mayor desarrollo en las plantas fertilizadas químicamente en sus primeras etapas de desarrollo, y así equivalente con lo encontrado por López *et al.* (1998), quienes observaron menor desarrollo en las plantas de geranio que recibieron productos orgánicos.

La plantas que fueron abonadas con el 100% de abono inorgánico presentaron mayor altura durante la fase experimental (tratamiento AFCH) (54.33 cm), seguido del tratamiento AECH con 46.75 cm, y por último mostraron una tendencia similar los tratamientos ECH y ACH con 38.42 y 36.67 cm, respectivamente (Figura 9), con una diferencia estadísticamente significativa en los tratamientos ($F= 28.65$; $p= <0.0001$). Resultados semejantes encontraron Aiyelaagbe y Abiola (2008), que señalan que la disponibilidad de los nutrientes es mayor cuando se realizan aplicaciones con fertilizante inorgánica al final del ciclo de cultivo.

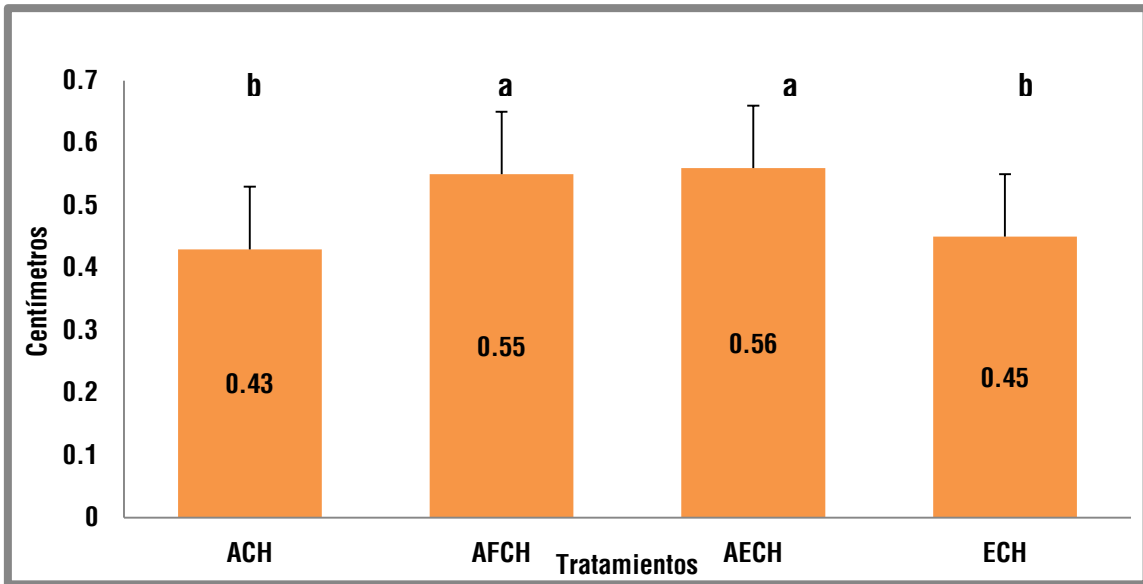


* *Tratamientos con la misma literal no son estadísticamente diferentes.*

Figura 9.- Alturas promedio de las plantas del chile en cuatro tratamientos.

7.3.2 DIÁMETRO DE TALLO

El diámetro de tallo es un buen indicador del vigor de las plántulas, ya que refleja directamente la acumulación de fotosintatos (productos químicos resultantes de la fotosíntesis), los cuales posteriormente pueden trastocarse a los sitios de demanda (Preciado *et al.*, 2002; Liptay *et al.*, 1981). Además, un mayor diámetro de tallo minimiza o previene el acame o caída de las plantas por acción del viento en el campo (Orzolek, 1991). Con lo que respecta a esta variable agronómica las plántulas de los tratamientos AFCH y AECH no obtuvieron diferencia estadística significativa, entre ellos pero si con los tratamientos ACH y ECH ($F= 29.36$; $p < 0.0001$) (Figura 10). Lo cual se relaciona con el crecimiento vegetativo (meristemas y hojas en expansión), la floración, crecimiento inicial de frutos y semillas, que a la vez compiten entre sí por asimilados. Vizzoto (1984) observó una alta correlación entre estas tres variables, principalmente en relación a la producción, atribuyendo que las plantas con mayor diámetro del tallo fueron más productivas debido a una mayor disponibilidad de los asimilados (Nitrógeno).



* *Tratamientos con la misma literal no son estadísticamente diferentes.*

Figura 10.- Diámetros promedio de las plantas del chile en cuatro tratamientos.

7.3.3 PRODUCCIÓN DE FRUTO

Con lo que respecta a esta variable se encontró una diferencia estadísticamente significativa en los tratamientos ($F= 89.87$; $p= <0.0001$) y AFCH y AECH presentaron valores semejantes en número de frutos, comportamiento similar presentaron los tratamientos restantes (Figura 11), sin embargo, los frutos de las plantas donde se utilizó fertilizante inorgánico al 100% presentaron un mayor grosor y peso, que de donde se realizó una substitución parcial del fertilizante inorgánico (50%), lo cual se ve reflejado con la producción total en kilogramos por unidad experimental (Figura 13).

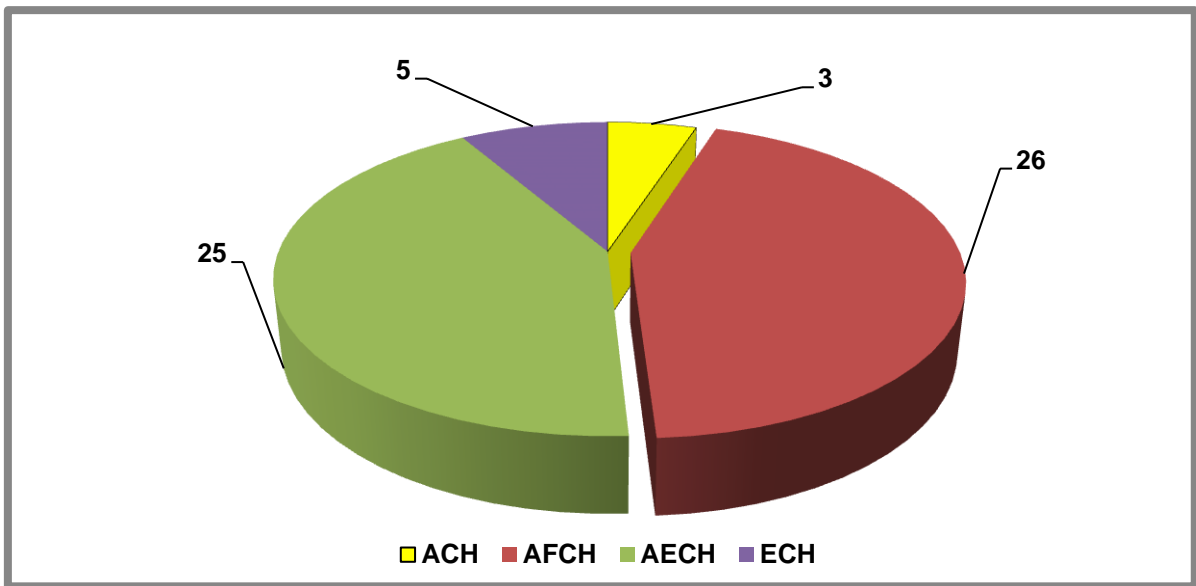


Figura 11.- Número de fruto por planta por tratamiento.

Durante el ciclo de cultivo del chile se procedió a cosechar en cuatro fechas con una diferencia de 10 días aproximadamente una de otra excepto entre la primera y segunda cosecha donde fue de 13 días, (5, 18 y 29 de Junio y 9 de Julio), con el propósito de observar el comportamiento de producción de las plantas en los diferentes tratamientos a través del tiempo de floración, este análisis nos sirve para optimizar el ciclo de cultivo y realizar el número de cosechas que sean rentables, para el caso de este experimento tres fechas de cosecha son las más adecuadas (Figura 12).

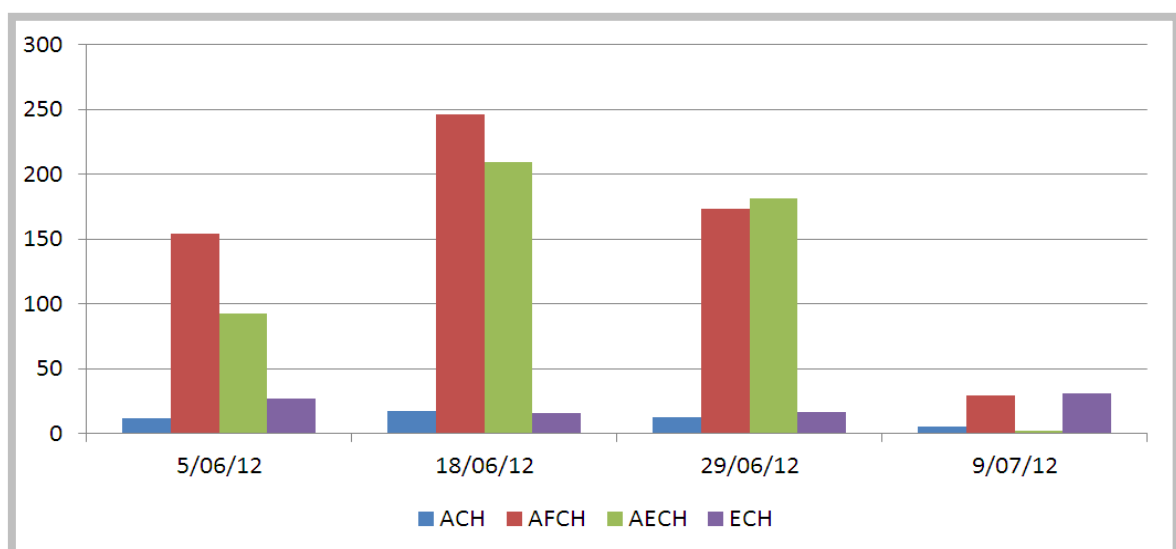
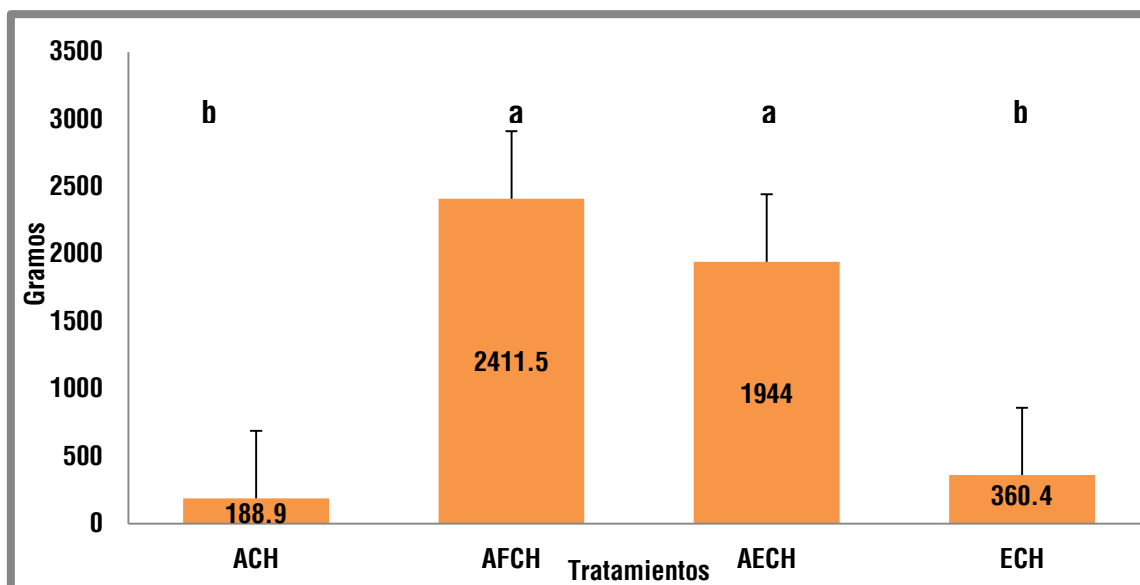


Figura 12.- Fechas de cosecha del chile serrano.

La producción de fruto inició a los 120 días después de la siembra, como reportan Sedano *et al.* (2005). Considerando las condiciones del invernadero el tiempo de cosecha óptimo es alrededor de 25 días (Figura 14), posteriormente deja de ser rentable el sistema. Las plantas del tratamiento AFCH alcanzó mayor producción que el resto de los tratamientos y por lo tanto mayor ganancia por unidad de producción, lo cual concuerda con lo observado por Xu *et al.* (2003) y por Blatt (1991), quienes mencionan que uno de los problemas de la producción orgánica es el menor rendimiento en relación con la fertilización química. Gaskell (2004) señala que los materiales orgánicos son variables en su comportamiento, sin embargo, no se manifestó diferencia estadística significativa entre el tratamiento AFCH y las plantas donde se utilizó solamente 50% de fertilizante inorgánico y agua de desecho de los estanques (AECH), debido a la respuesta de la regularización de los nutrimentos disponibles en el suelo proporcionados por el agua de los estanques; esto es una manifestación del crecimiento de la actividad biológica, que se traduce en la práctica de la mejora de la fertilidad y, por lo tanto, de los rendimientos (Gros y Domínguez, 1992).

La producción total se presentó en las plantas utilizadas en el tratamiento AFCH debido a la mayor disponibilidad de nutrientes. Warman (1998), indica que la mineralización de los productos previamente aplicados influye fuertemente en la producción, especialmente en plantas altamente demandantes en nutrimentos. Asimismo, Aiyelaagbe y Abiola (2008), señalan que las plantas de maracuyá fertilizadas químicamente produjeron el doble que las plantas abonadas orgánicamente. Smith (2004) menciona en las plantas que son abonadas orgánicamente tienen menor crecimiento debido a que el nitrógeno orgánico no está disponible para una descomposición rápida o que no se puede utilizar en el primer año después de su aplicación, ya que una fracción pasa a formar parte del humus, que resiste la degradación rápida.

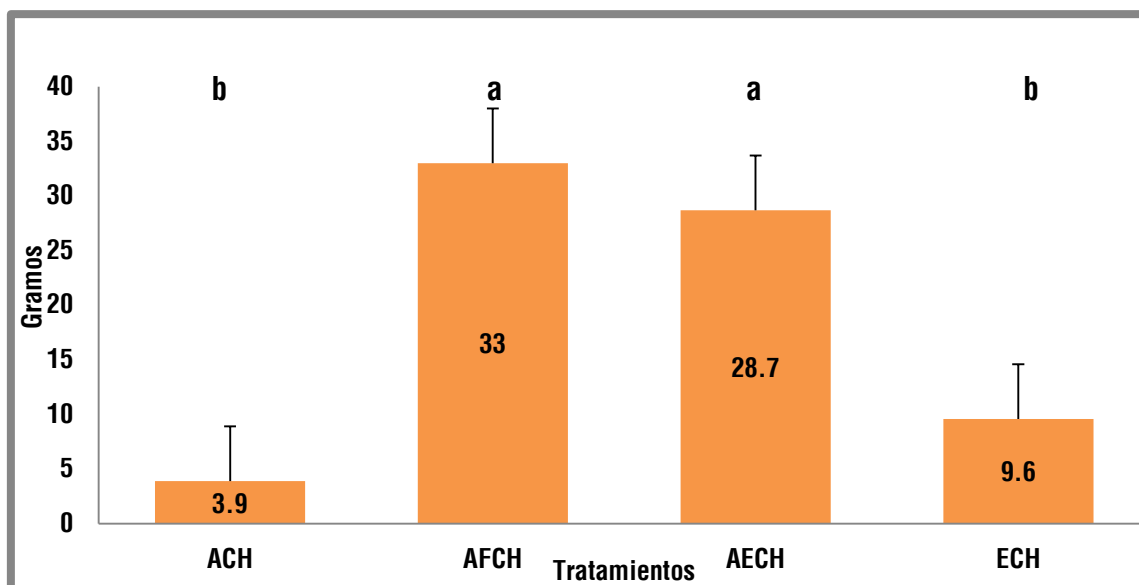


*Tratamientos con la misma literal no son estadísticamente diferentes.

Figura 13.- Producción promedio de las plantas del chile en cuatro tratamientos.

7.3.4 MATERIA SECA

El comportamiento de esta variable agronómica fue parecido que las otras con una diferencia estadísticamente significativa en los tratamientos ($F= 56.89$; $p= <0.0001$), se conformaron dos grupos el primero de ellos es donde participó como detonante del desarrollo vegetativo el fertilizante inorgánico total o parcialmente mismos que no presentaron diferencia estadística significativa entre ellos y si entre los tratamientos donde no fue utilizado (Figura 14). Los valores alcanzados fueron AFCH 33 g, AECH 28.7 g, ECH 9.6 g y ACH 3.9 g, resultados parecidos fueron encontrados por Jakše y Mihelic (1999), quienes observaron mayor peso seco de las plantas de repollo y espinaca fertilizadas químicamente que las plantas abonadas con estiércol de pollo. Sin embargo, Lairon *et al.* (1984), indican que encontraron que el peso seco de las lechugas no fue afectado drásticamente por el origen de los nutrimentos.



* Tratamientos con la misma literal no son estadísticamente diferentes.

Figura 14.- Materia Seca promedio de las plantas del chile en cuatro tratamientos.

7.4 ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO POR TRATAMIENTO

El suelo utilizado en los experimentos de trigo y chile presentó las características fisicoquímicas siguientes: el pH resultó ser ligeramente ácido con valores desde 5.9 a 6.8; algunos autores como Molinar *et al.* (2009) señalan que el pH adecuado para el desarrollo de estas especies es de 5.8 a 7.0. Los resultados de la conductividad eléctrica (0.4 a 0.14) se encuentran dentro del rango permitido para el desarrollo de ambos cultivos, además nos indican poca presencia de sales. Con respecto a la textura del suelo, esta es arcillosa y con alto contenido de materia orgánica (MO), sin embargo este tipo de suelos cae dentro de los Vertisoles los cuales generalmente presentan bajos contenidos de MO (Brady y Weil, 1999). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un suelo depende de su naturaleza; generalmente suelos con altos contenidos de arcilla y MO tendrán mayor CIC, por lo tanto más alto será el potencial de fertilidad (Blanco, 2003), los valores del análisis de la CIC, se encuentran entre los óptimos (15 y 18 me/100 g) y al relacionarlos con los altos contenidos de arcilla y de materia orgánica, coincide con lo que descrito por Blanco (2003).

En el cultivo de trigo los rendimientos variaron según el nivel de disponibilidad del nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); las plantas de los tratamientos fertilizados al 100% (AFT) y al 50% + agua del estanque (AET) dispusieron de esos nutrimentos, ya que como se puede observar en las figuras 15,16,17 y 18 al final del ciclo de cultivo disminuyeron sus contenidos en el suelo; siendo los mejores no sólo en el rendimiento si no también en las diversas variables evaluadas, comparados con el tratamiento regado con agua (AT) y el regado solamente con el agua de estanque (ET). Aun cuando al final del ciclo de cultivo no se hizo el análisis químico en los tratamientos, se pudo observar la misma tendencia. Los rendimientos obtenidos en este trabajo, resultaron ser similares en los mismos cultivos a los reportados por Calviño y Sadras (2002) para suelos de similares características y con elevada disponibilidad de N. Asimismo se determinó una relación de alto ajuste entre la respuesta a la fertilización y nivel inicial de P en suelo (Bray y Kurtz, 1945). Existen trabajos de diferente índole que señalan al fósforo como uno de los 17 nutrientes considerados esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, que junto con el nitrógeno, el potasio, el azufre (S), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) conforman el grupo de macronutrientes por las cantidades requeridas y la frecuencia con que se encuentran en cantidades deficientes para los cultivos. (Birch, 1961). Según los técnicos del INTA, la carencia de este elemento afecta en mayor medida el crecimiento de las plantas que la propia fotosíntesis.

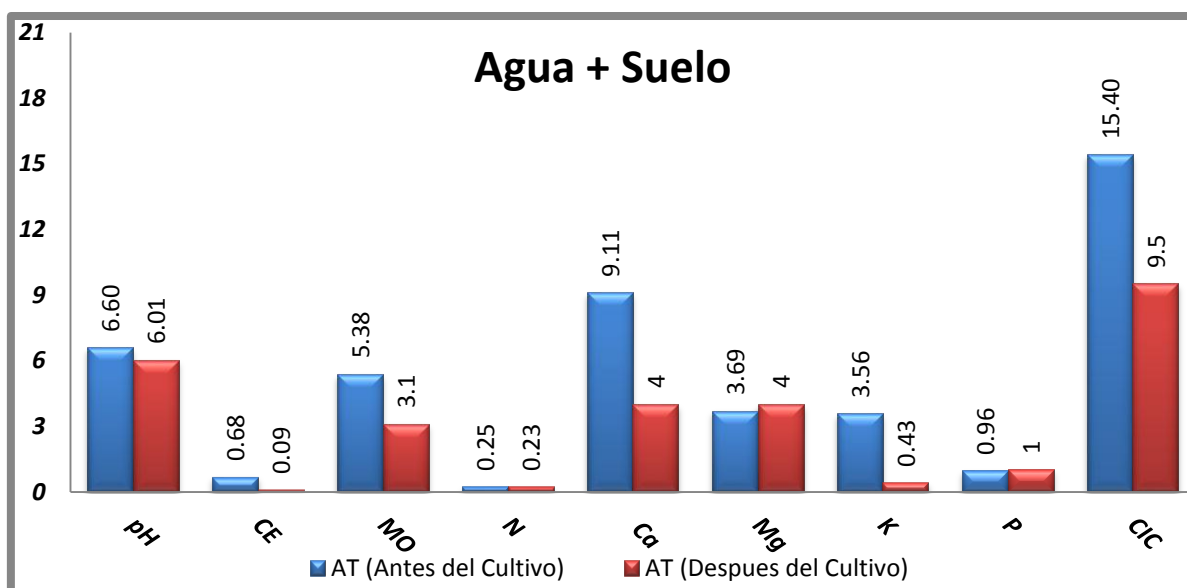


Figura 15. Análisis químicos del suelo, antes y después del cultivo del tratamiento AT.

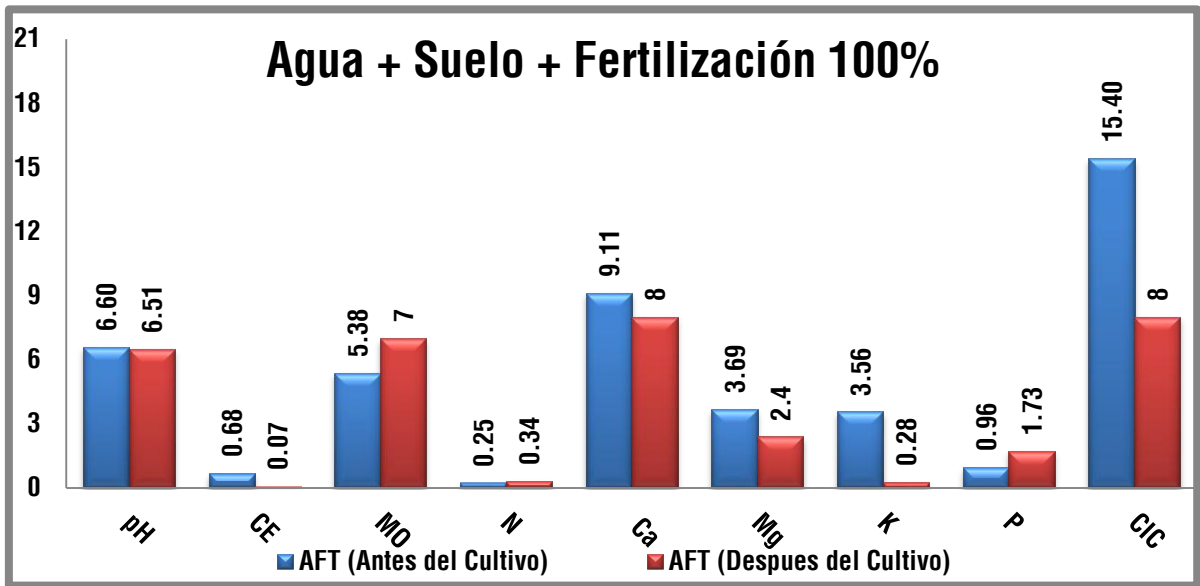


Figura 16. Análisis químicos del suelo, antes y después del cultivo del tratamiento AFT.

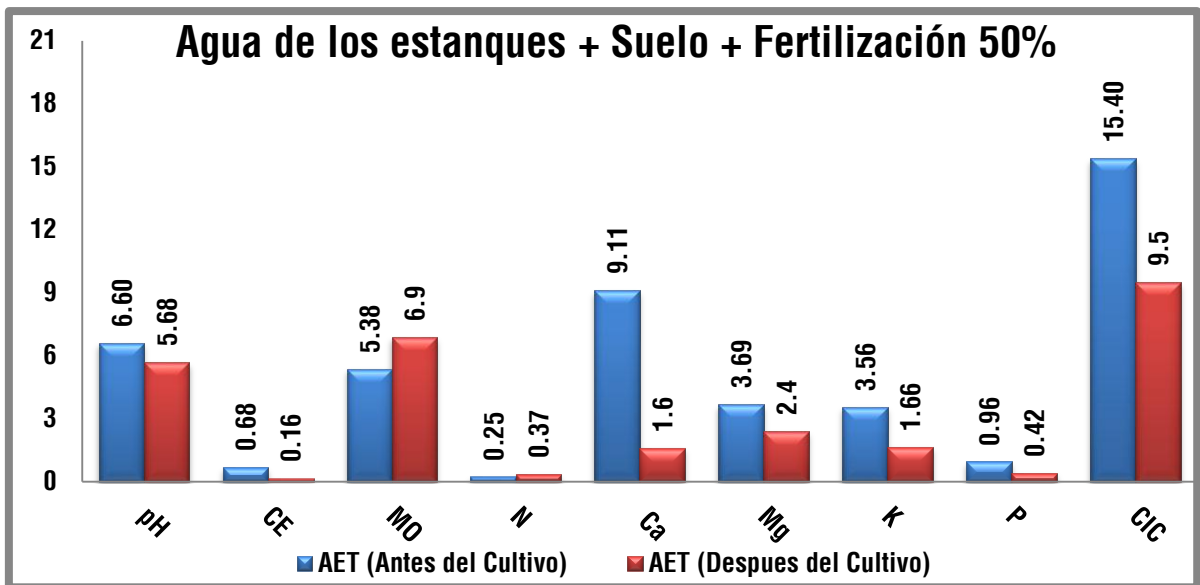


Figura 17.- Análisis químicos del suelo, antes y después del cultivo del tratamiento AET.

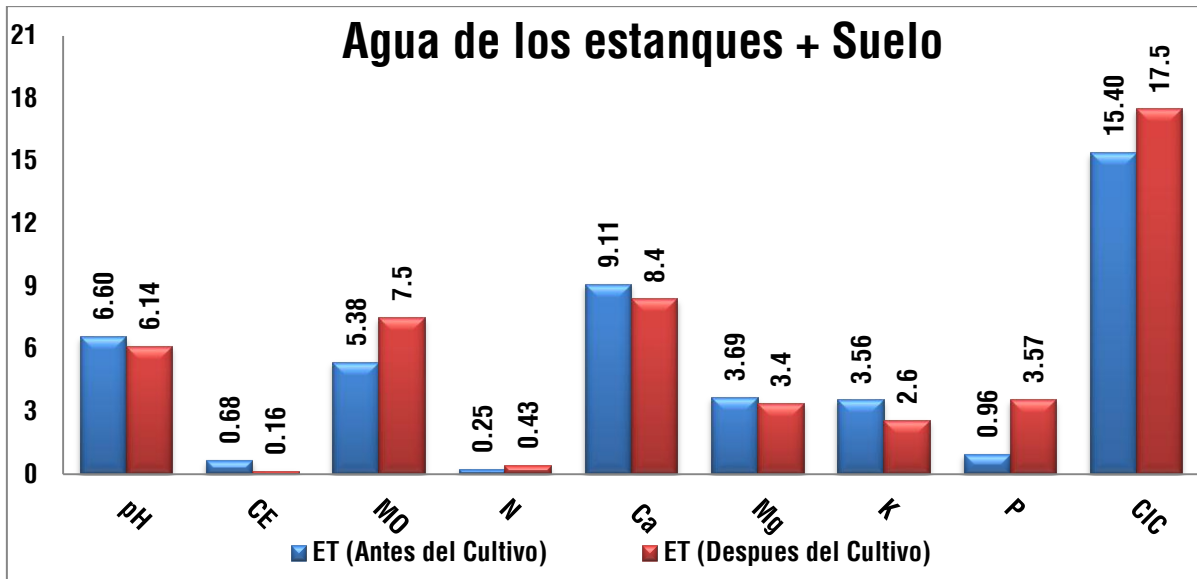


Figura 18.- Análisis químicos del suelo, antes y después del tratamiento ET.

8. CONCLUSIONES

1. La agro acuicultura mediante la integración de dos sistemas de producción permite incrementar las ganancias por unidad de volumen mediante la utilización del recurso agua.
2. Existe un enriquecimiento de nutrientes en el agua utilizada en un sistema de producción de peces (compuestos nitrogenados, fosfatos, materia orgánica, entre otros) que son detonantes en los sistemas de producción de trigo y chile.
3. Las diferentes variables agronómicas evaluadas no presentaron en la mayoría de los casos diferencia estadística significativa con los tratamientos AFT, AFCH y AET, AECH en los dos sistemas de producción establecidos (trigo y chile).
4. Los tratamientos AFT y AET desarrollaron un número de espigas de trigo y AFCH y AECH en frutos de chile de manera similar, sin embargo; el rendimiento total en ambos sistemas de producción fue mayor en AFT y AFCH.
5. Se puede substituir el 50% del fertilizante inorgánico en los cultivos de trigo y chile sin afectar la producción al utilizar agua proveniente de un sistema de producción acuícola.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ◆ Abbate PE, Andrade F, Culot J P.1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín técnico No 133. EEA INTA Balcarce. 17pp.
- ◆ Aguilera CM y Martínez R. (1996). *Relaciones agua, suelo, planta, atmósfera*. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 256 pp.
- ◆ Aiyelaagbe, I.O.O. and Abiola, I.O. (2008). Growth and yield response of yellow passion fruit to organic and inorganic fertilizers in south western Nigeria. *Acta Hort. (ISHS)* 767:441-446.
- ◆ Ali, A.B. 1992. Rice-fish farming in Malaysia: past, present and future, p. 69-76. In C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal and M.P. Bimbao (eds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 457 p.
- ◆ Ardiwinata, R.O. 1957. Fish culture in the rice fields in Indonesia. *Proc. Indo-Pacif. Fish. Coun.* 7:119-154.
- ◆ Barton, B. A. 1997. Stress in finfish: Past, present and future—a historical perspective. In G. K. Iwama, A. D. Pickering, J. P. Sumpter, and C. B. Schreck (eds.), *Fish stress and health in aquaculture*, pp. 1–33. Soc. Exp. Biol. Sem. Ser. 62, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K.
- ◆ Blatt, C.R. (1991). Comparison of several organic amendments with a chemical fertilizer for vegetable production. *Scientia Horticulturae*, Volume 47, Issues 3-4, July 1991, Pages 177-191.

- ◆ Cai, R., Ni, D. y Wang, J. 1995. Rice-Fish culture in China: the past, present and future, p. 3-14. In K.T. MacKay (ed.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (CIID) Ottawa, Canada, 276 p.

- ◆ Coche, A.G. 1967. Fish culture in rice fields. A worldwide synthesis. *Hydrobiologia* 30:11-44.

- ◆ Cramer, G.R., A. Lauchli, V. S. Polito, 1985. Displacement of Ca^{2+} by Na^{+} from the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress? *Plant Physiol.*, 79, 207-211.

- ◆ Domínguez, V.A. (1996). *Fertirrigación*. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p 25.

- ◆ Edmeades, G. O. and Daynard, T. B. 1979. The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plants. *Can. J. Plant. Sci.* 59: 585-601.

- ◆ El-Tarabily, K.A., Nassar, A.H., Giles, E., Hardy, St.J. and Sivasithamparam, K. (2003). Fish emulsion as a food base for rhizobacteria promoting growth of radish (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) in a sandy soil. *Plant and Soil* 252: 397–411.

- ◆ FAO. 1957. Fish culture in rice fields, p. 193-206. In A preliminary review and annotated bibliography from Section II and III of Proc. Indo-Pacif. Fish. Coun. 7. FAO, Rome.

- ◆ FAO. 2000. Los pequeños estanques: grandes integradores de la producción agropecuaria y la cría de peces. FAO, Rome, 30 pp.

- ◆ Fedoruk, K. y Leelapatra, W. 1992. Rice field fisheries in Thailand, p. 91-104. In C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal and M.P. Bimbao (eds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457 p.

- ◆ Fisher, R.V., Glicken, H.X. & Hoblitt, R.P. (1987) May 18, 1980, Mount St. Helens Deposits in South Coldwater Creek, Washington. J. geophys. Res. 92, 10,267-10,283.

- ◆ Francis, C.F. & Thornes, J. (1999): Matorral: Erosión and reclamation. En: *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*, J. Albadalejo, M.A. Stocking & E. Díaz (Eds). Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Murcia, 88-115.

- ◆ Gallardo-Cruz, J.A., Meave, J.A., Pérez-García, E.A., Hernández-Stefanoni, J.L. 2010. Spatial structure of plant communities in a complex tropical landscape: implications for β -diversity, *Community Ecology* 11:202-210.

- ◆ Gaskell, M. (2004). Nitrogen availability, supply and sources in organic row crops. *In California Conference on Biological Control CCBC IV California Organic Production and Farming in the New Millennium: A Research Symposium*. Thursday July 15, 2004. International House, Berkeley, CA.

- ◆ Gros, A. (1981). Abonos, guía práctica de la fertilización. 7ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 559 p.

- ◆ Guhl, A. (2006). Cambios ambientales en perspectiva histórica. *Ecología Histórica y Cultura Ambiental*, Universidad Tecnológica de Pereira, vol. 2

- ◆ Halwart, M. 2006b. Fish as biocontrol agents of vectors and pests of medical and agricultural importance, p. 70-75. In IIRR, CIID, FAO, NACA and ICLARM. Utilizing different aquatic resources for livelihoods in Asia: a resource book. International Institute of Rural Construction, International Development Research Center, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific and International Center for Living Aquatic Resources Management, 416 p. Hamilton, University of Waikato, pp 335-356.

- ◆ Hauck, R. D. 1981. Nitrogen fertilizer effects in nitrogen cycle processes. p.551-562. In F.E. Clark and T. Roswall (ed.). Terrestrial nitrogen cycles. Ecol. Bull. 33. Swedish Natural Science Research Council, Stockholm.

- ◆ Jakše, M. and Mihelic R. (1999). The influence of organic and mineral fertilisation on vegetable growth and N availability in soil: preliminary results. Acta Hort. (ISHS) 506:69-76.

- ◆ Kemp, A. L. W. 1971. Organic carbon and nitrogen in the surface sediments of lakes Ontario, Erie and Huron. J. Sedimento Petrol., Vol. 41, No. 2, p. 537-548.

- ◆ Kuronoma, K. 1980. Carp culture in Japanese rice fields. (Edited and condensed by R.S.V. Pullin from the author's original work published in 1954), p. 167-174. In R.S.V. Pullin and Z.H. Shehadeh (eds.) 1980. Proc. of the ICLARM-SEARCA Conf. on Integrated AgricultureAquaculture Farming Systems, Manila, Philippines, 6-9 August 1979, 258 p.

- ◆ Lairon, D., Spitz, N., Termine, E., Ribaud, P., Lafont, H. and Hauton, J. (1984). Effect of organic and mineral nitrogen fertilization on yield and nutritive value of butterhead lettuce. Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum). Springer Netherlands. Volume 34, Number 2.

- ◆ Lázaro L. 1996. Determinación del rendimiento de trigo ante cambios en la disponibilidad de nitrógeno generados por distintos cultivos antecesores. Tesis de Magister Scientiae. Curso de Post-Grado en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires.41 pp.

- ◆ Li, K. 1992. Rice-fish farming in China: past, present and future, p. 17-26. In C.R. de la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal and M.P. Bimbao (eds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457 p.

- ◆ López, R., Durán, C., Murillo, J.M. and Cabrera, F. (1998). Geranium's response to compost based substrates. Acta Hort. (ISHS) 469:255-262.

- ◆ Niederberger, C., 1987. Paléopaysages et Archéologie Pré-Urbaine du Bassin de Mexico. Collection Études Mésoaméricaines, vols. I y II. Mexico City: Centre d'Etudes Mexicaines et Centraméricaines.

- ◆ Núñez, E. R., y F. Gavi R. 1994. Comportamiento agronómico de roca fosfórica de Baja California en un andosol, un planosol y un aridisol de México. Terra. 12: 17–22.

- ◆ Orzolek, M. D. 1991. Establishment of vegetables in the field. Hort. Tech. 1:78-81.

- ◆ Picone L, Videla C. 1998. Relaciones entre la tasa de denitrificación y el contenido de nitratos, humedad y carbono orgánico soluble del suelo en un cultivo de trigo. Ciencia del Suelo 16:77-82.

- ◆ Preciado, R. P.; Baca, C. G. A.; Tirado, T. J. L.; Kohashi, S. J.; Tijerina, Ch. L.; Martínez, G. A. 2002. Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra* 20: 67-276.

- ◆ Prine, G.M., 1971. A critical period for ear development in maize. *Crop Science*. 11:782-786.

- ◆ Rasmussen, E; Deeks, J; and Street, M (1996) *The entrepreneurial worker: Changes to work and contractual relationships*. In Gibson, J (ed) *Accord or discord? Proceedings of the third IERA conference*.

- ◆ Rojas, R. R. 1985. Ensayos de germinación con semillas de 5 especies de palmeras aplicando 10 tratamientos pre-germinativos y ensayos de cosecha con 7 métodos. Iquitos (Perú): Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Tesis de Ingeniero Forestal. 110 pp.

- ◆ Sedano, G., González, V.A., Engleman, E.M., Villanueva, C. (2005). Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, julio-diciembre, año/vol. 11, número 002. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 291-297.

- ◆ Serna-Hernández, J. & E. López-López. 1988. Una aproximación al fenómeno de sucesión fitoplanctónica del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, por métodos multivariados. *Zoología Informa*. México, D.F. 32: 5-17.

- ◆ Smith, R. (2004). Cover crops as a soil management practice to improve nitrogen Nutrition for organic vegetable production. *In California Conference on Biological Control CCBC IV California Organic Production and Farming in*

the New Millennium: A Research Symposium. Thursday July 15, 2004.
International House, Berkeley, CA.

- ◆ Stevenson, F. J. 1982. Organic forms of soil nitrogen. P 67-122. In F. J. Stevenson (ed.). Nitrogen in agricultural soils. Monography N° 22. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.

- ◆ Suñer, L. y Galantini, J. A. . Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* [online]. 2008, vol.25, n.1 [citado 2013-01-10], pp. 41-55. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2008000100006&lng=pt&nrm=iso>. ISSN 1668-298X.

- ◆ Tamura. 1961. Carp cultivation in Japan, p. 103-120. In G. Borgstrom (ed.) Fish as Food. Vol. 1. Academic Press, New York.

- ◆ Tollenaar, M., L.M. Dwyer and D.W. Stewart, 1992. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. *Crop Science*. 32:432-438.

- ◆ Vázquez-Yanes, C., 2009, La fisiología ecológica vegetal en México. En: Rzedowski, J., S. Guevara y P. Moreno-Casasola (editores). La botánica frente al siglo XXI (en prensa).

- ◆ Vega, C.R., O.R. Valentinuz, S.A. Uhart y F.H. Andrade, 1997. Rendimiento en grano por planta y estabilidad del Índice de cosecha en función del tamaño de planta en soja, girasol y maíz. Maíz VI Congreso Nacional. AIANBA, Pergamino, Argentina. Tomo II, pp. 20-24.

- ◆ Vizzoto, V.J. 1984. Efeito do tamanho da muda e da época de transplante sobre a produção de bulbos comerciais de cebola (*Allium cepa* L.). Pelotas: UFPel. 57p. (Dissertação).
- ◆ Warman, P.R. (1998). Results of the long-term vegetable crop production trials: conventional vs compost-amended soils. *Acta Hort. (ISHS)* 469:333-342.
- ◆ Xu, H.L., Wang, R., Xu, R.Y., Mridha, M.A.U. and Goyal, S. (2003). Yield and quality of leafy vegetables grown with organic fertilizations. *Acta Hort. (ISHS)* 627:25-33.

Fuentes de Internet

- ◆ <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf> - Agua para todos Agua para la vida. Consultado el 16 de Diciembre del 2011.
- ◆ Rel-UITA. S/A. El agua en números. Disponible en: <http://www.reluita.org/agricultura/ambiente/agua/agua-en-numeros.htm>
Fecha de consulta: 2/06/2012.
- ◆ World Resources Institute, Water withdrawals: percent used for agricultural purposes, URL: <http://earthtrends.wri.org>, 2003.
- ◆ <http://redalyc.uaemex.mx/>
- ◆ <http://azul.bnct.ipn.mx/>

- ◆ http://www.fao.org/index_es.htm

- ◆ <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

- ◆ <http://www.sciencedirect.com>

- ◆ <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>

- ◆ <http://www.scopus.com>

- ◆ <http://www.oaresciences.org>

- ◆ <http://www.springerlink.com/>