

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA**

Trabajo de Graduación

**Calidad de las fuentes de agua de la Estación Experimental
Monterrico, Taxisco, Santa Rosa**



Presentado Por:

T.A Pedro Daniel Rodríguez Hernández

**Para otorgarle el título de
Licenciado en Acuicultura**

Guatemala, Septiembre de 2012

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA**

Trabajo de Graduación

**Calidad de las fuentes de agua de la Estación Experimental
Monterrico, Taxisco, Santa Rosa**



Presentado Por:

T.A Pedro Daniel Rodríguez Hernández

**Para otorgarle el título de
Licenciado en Acuicultura**

Guatemala, Septiembre de 2012

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA**

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente	M. Sc. Erick Roderico Villagrán Colón
Coordinadora Académica	M. Sc. Norma Edith Gil Rodas de Castillo
Secretario	M. BA. Allan Franco de León
Representante Docente	Ing. Agr. Gustavo Adolfo Elías Ogaldez
Representante Estudiantil	T.A. Dieter Walther José Marroquín Wellman
Representante Estudiantil	T.A. José Andrés Ponce Hernández

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad San Carlos de Guatemala, por abrirme las puertas a la educación superior y ser formadora de profesionales.

Al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, por ser mi segundo hogar en el transcurso de mi carrera como profesional.

Al Laboratorio de Investigación Aplicada, por brindarme el apoyo para desarrollar las inquietudes y mejorar mi formación académica a lo largo de estos años.

A la Estación Experimental Monterrico, por recibirme con las puertas abiertas durante la realización de la investigación.

DEDICATORIA

A Dios, por darme vida, salud y una familia que pudo brindarme el apoyo necesario para ser un hombre de bien en esta sociedad.

A mi padre, por ser ejemplo de esfuerzo, dedicación y empeño sobre las metas personales y académicas que se deben trazar a lo largo de la vida.

A mi madre, por ser el mejor ejemplo que tengo sobre amor, respeto y cariño; gracias vieja, lo logramos.

A mis hermanos, Alejandra Rodríguez, Pablo Rodríguez, por ser un apoyo moral durante mi vida y estar siempre a mi lado.

A la M.Sc. Dora Carolina Marroquín, por ser un gran apoyo durante mi carrera en el -CEMA- y ser un ejemplo académico a seguir. Gracias Licenciada por todo.

Al M.Sc. Leonel Carrillo, por su apoyo, dedicación, consejos y oportunidades; es un gran ejemplo a seguir tanto fuera como dentro del campus universitario. Muchas gracias por brindarme su confianza.

Al M.Sc. Luis Francisco Franco, por su apoyo, confianza y esfuerzo durante mi carrera. Siempre le estaré agradecido por confiar en mí cuando no muchos lo hicieron.

A mis compañeros, Ana Lucía Alfaro, Mario Hernández, Elvis Reyes, Sheyla Alemán, Alfa Castro, Lorena Bailey. Gracias por el apoyo. Lo logramos.

A mis amigos, Tatiana Rodas, Carlos Martínez, Darling Hermosilla, Pedro de León, Pablo Cazali, Marlon García, Elisabeth Morales, Gabriel Rivas, Marco Valdez, Pamela Valladares, Jesús Guzmán, Gabriela Remmele, Wendy Calderón, gracias por su amistad, apoyo y comprensión. Forman una parte importante dentro de mi vida y agradezco infinitamente a cada uno su forma de ser conmigo.

A mis catedráticos, gracias por el esfuerzo que diariamente durante tantos años hicieron para la formación de profesionales.

RESUMEN

Uno de los factores determinantes en el éxito de una empresa de producción acuícola es el componente de calidad de agua con la que se trabaja, base de la producción de los organismos de manera eficiente.

Para la Estación Experimental de Monterrico –EEM- es vital conocer las características físico-químicas del agua que utiliza para la producción y reproducción de organismos acuáticos para derivar prácticas de manejo adecuadas a los cultivos.

La presente investigación proporciona los resultados de análisis físico químicos de las diferentes fuentes de agua utilizados en la EEM; realizados en seis puntos de muestreo, correspondiendo a seis pozos evaluados mensualmente durante el periodo experimental comprendido entre marzo-septiembre del 2011. Estos resultados resaltan que la temperatura promedio fue de 31.4 °C y el oxígeno disuelto de 3.78mg/L; ambos dentro de los parámetros sugeridos para cultivos de tilapia gris *Oreochromis niloticus* y camarón marino *Litopenaeus vannamei* desarrollados en EEM.

Los pozos de abastecimiento III, V y el de agua salada presentaron niveles mayores de productos nitrogenados (NO_3^- y NH_4^+) y PO_4^{-3} en el caso del pozo V; especialmente en los meses de julio-septiembre; probablemente debido a la sobrecarga de nutrientes derivados del uso alterno del agua en agricultura, desechos urbanos y usos domésticos, sugiriendo el uso alterno de otras fuentes de agua durante este período.

No se detectó en los análisis físico-químicos realizados en los diferentes pozos factores limitantes para el desarrollo de cultivos acuícolas en la EEM, manteniendo niveles de nutrientes apropiados cuando éstos fueron comparados con los reportados por Lovitch (1967).

ABSTRACT

One of the determining factors in the success of an aquaculture production business is the water quality with which it works. It is one of the most important factors, as it is the basis for the efficient production of organisms.

It is vital for Estación Experimental de Monterrico –EEM- to know the physical-chemical characteristics of the water, used for the production and reproduction of aquatic organisms, to derive appropriate management practices during production.

The following research provides the results of a physical-chemical analysis carried out on the different sources of water used in the EEM, six sampling points corresponding to six wells were evaluated. Each of these was evaluated on a monthly basis from March to September. The average temperature was 31.4 °C, and the average dissolved oxygen concentration was 3.78mg/L; both within the ranges suggested for growing Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* and the White shrimp *Litopenaeus vannamei* in EEM.

Supply wells III, V and saltwater supply had higher nitrogen (NO_3^- y NH_4^+) and PO_4^{3-} concentrations in the case of well V, especially in the months of July to September, probably due to overload nutrients derived from alternate use of water in agriculture, urban wastes and domestic use, making it necessary to use alternative sources of water during this period. Because of this, frequent monitoring is important to make decisions and evaluate whether or not to use alternative wells during that time.

Physical and chemical analyzes made in different wells, show that there are no limiting factors for the development of fish farming in the EEM, maintaining appropriate levels of nutrients when they were compared with those reported by Lovitch (1967).

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO TEORICO	
2.1.	Marco referencial	2
2.2.	Marco conceptual	3
2.2.1.	Características generales	3
2.2.1.1.	<i>Fuentes de agua</i>	3
2.2.2.	Impacto de los pozos en el flujo del agua subterránea	4
2.2.3.	Calidad del agua subterránea	5
2.2.4.	Sobreexplotación del agua subterránea	5
2.2.5.	Pozo	6
2.2.5.1.	<i>Calidad de agua de pozos</i>	6
2.2.6.	Contaminación de pozos	6
2.2.7.	Parámetros físico-químicos de agua de pozo	9
III.	OBJETIVOS	
3.1.	General	12
3.2.	Específicos	12
IV.	METODOLOGÍA	
4.1.	Ubicación geográfica	13
4.2.	Variables	16
4.3.	Muestreo	16
4.3.1.	Monitoreo de parámetros <i>in situ</i>	17
4.3.2.	Monitoreo de parámetros <i>ex situ</i>	18
4.3.3.	Frecuencia de muestreos	20
4.4.	Registro y bases de datos	20
4.5.	Análisis de la información	20
4.6.	Diseño estadístico	21
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1.	Temperatura	22
5.2.	Oxígeno	23

5.3.	Salinidad	25
5.4.	pH	26
5.5.	Nitritos NO_2^-	27
5.6.	Nitratos NO_3^-	28
5.7.	Fosfatos PO_4^{-3}	29
5.8.	Amonio NH_4^+	31
VI.	CONCLUSIONES	33
VII.	RECOMENDACIONES	34
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	35
IX.	ANEXO	

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1.	Distribución del agua en el planeta	3
Cuadro No. 2.	Límites permisibles para la calidad de agua	11
Cuadro No. 3.	Identificación de pozos dentro de la Estación Experimental de Monterrico.	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1.	Ubicación geográfica Estación Experimental Monterrico.	13
Figura No. 2.	Croquis Estación Experimental Monterrico.	14
Figura No. 3.	Distribución de tuberías hídricas de la Estación Experimental de Monterrico.	15
Figura No. 4.	Muestras de agua por cada pozo (mensual) para análisis de parámetros fisicoquímicos .	16
Figura No. 5.	Medición de parámetros <i>in situ</i> .	18
Figura No. 6.	Análisis de parámetros <i>ex situ</i>	19
Figura No. 7.	Análisis de concentración de salinidad de fuentes de agua de Estación Experimental Monterrico.	19
Figura No. 8.	Comportamiento de temperatura de pozos, de marzo a septiembre del 2,011.	23
Figura No. 9.	Comportamiento del oxígeno disuelto en pozos, de marzo a septiembre del 2,011.	24
Figura No. 10.	Comportamiento de la salinidad en pozos, de marzo a septiembre del 2,011.	25
Figura No. 11.	Comportamiento del pH en pozos, de marzo a septiembre del 2,011.	26
Figura No. 12.	Comportamiento de Nitritos NO_2^- en pozos, de marzo a septiembre del 2,011.	27
Figura No. 13.	Comportamiento de Nitratos NO_3^- en pozos, de marzo a septiembre del 2,011.	29
Figura No. 14.	Comportamiento de los fosfatos PO_4^{-3} en pozos, de marzo a septiembre del 2,011.	30
Figura No. 15.	Comportamiento del amonio NH_4^+ en pozos, de marzo a septiembre del 2,011.	32

ÍNDICE DE ANEXO

- Anexo No. 1.** Boleta de recolección de parámetros físico-químicos.
- Anexo No. 2.** Parámetros fisicoquímicos de pozo de agua dulce No. I.
- Anexo No. 3.** Parámetros fisicoquímicos en pozo de agua dulce No. II.
- Anexo No. 4.** Parámetros fisicoquímicos en pozo de agua dulce No. III.
- Anexo No. 5.** Parámetros fisicoquímicos en pozo de agua dulce No. IV.
- Anexo No. 6.** Parámetros fisicoquímicos en pozo de agua dulce No. V.
- Anexo No. 7.** Parámetros fisicoquímicos en pozo de agua salada.

I. INTRODUCCIÓN

En comparación con las aguas superficiales, el agua subterránea (pozos), es una de las menos estudiadas, debido a la creencia de que este tipo de agua es esencialmente limpia por la acción filtradora del medio en el cual pasa. La sobreexplotación de los mantos freáticos, así como las actividades contaminantes, han ocasionado el deterioro de la calidad de agua, el grave decrecimiento del nivel de los mantos y la disminución de la recarga natural causada por sobrepoblación humana. Todos estos factores tienen influencia directa sobre la calidad de las aguas.

En Guatemala más del 50% del agua subterránea es utilizada para consumo humano, industria, acuicultura y agricultura. Sin embargo debido a la sobreexplotación y sobrepoblación, la disponibilidad de la misma ha disminuido y por ende afecta las características físico-químico de los afluentes.

La calidad de las fuentes de agua en una granja acuícola es de gran importancia para la producción de organismos de manera eficiente. Es fundamental contar con parámetros físico-químicos del agua que permitan tomar decisiones de manejo tales como: densidad de siembra, frecuencia de alimentación u otros factores de importancia para que la granja acuícola sea viable y económicamente rentable.

Tomando como referencia la situación antes mencionada, la presente investigación describe el estado en el cual se encuentran los pozos que abastecen a la Estación Experimental de Monterrico, Taxisco, Santa Rosa. Así mismo evidencia la capacidad de utilización las distintas fuentes con las que cuenta la granja para cultivos acuícolas de interés como lo son el camarón marino *L. vannamei*, la tilapia *O. niloticus* y otras especies nativas.

II. MARCO TEORICO

2.1. Marco referencial

Actualmente no existe una investigación en la Estación Experimental de Monterrico cuyo objetivo principal de estudio sea la calidad del agua, sin embargo los siguientes trabajos incluyen dentro de la información analizada, algunos aspectos de la misma:

- La investigación “Comparación de dos dietas en el comportamiento productivo de alevines de pejelagarto *Atractosteus tropicus*, hace una referencia a la calidad de agua, indicando que los parámetros adecuados para cultivar la especie fueron: temperatura de 28 a 31°C, oxígeno disuelto de 3 a 6 mg/L, pH 7.5 y transparencia de 10 a 50 cm sin analizar la calidad de la fuente de agua que abasteció la granja durante el proceso (Rivas Say, 2009).
- Dentro de los aspectos evaluados en el diagnóstico para el manejo de la Estación Experimental del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA- (Guerra y Guerra; et al., 2002), se determinó que el acceso de agua marina y agua dulce era una de las fortalezas de la estación, así como también una breve descripción de los pozos que se utilizan como fuente de agua.
- Se realizó una evaluación de dos densidades de siembra de mojarra roja *Cichlasoma trimaculatum* con dos dietas comerciales en piletas de concreto en la Estación Experimental de Monterrico, Taxico, Santa Rosa (Günther, 1867), la cual describe los parámetros de calidad de agua de la estación como la temperatura máxima de 33°C y mínima de 25.5°C, el oxígeno disuelto máximo 14.94 mg/L y mínimo de 5.9 mg/L, la turbidez 50 cm la máxima y 50 cm la mínima y un pH de 9.88 máxima y 6.35 mínima. Estas características indican que la calidad de agua es apropiada para el cultivo de la mojarra roja (López, 2000).

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Características generales del agua

2.2.1.1. Fuentes de Agua

El agua del planeta se encuentra distribuida en diferentes cuerpos de agua (Cuadro No.1). Cuando se habla del abastecimiento de agua, éste generalmente se divide en dos fuentes: aguas subterráneas y superficiales.

Cuadro No.1. Distribución del agua en el planeta

	Volumen en km ³		porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	de Agua dulce	de agua total
Océanos y mares	0	1,338,000,000	-	96.5
Casquetes y glaciares polares	24,054,000	0	68.7	1.74
Agua subterránea salada	0	12,870,000	-	0.94
Agua subterránea dulce	10,530,000	0	30.1	0.76
Glaciares continentales	300,000	0	0.86	0.022
Lagos de agua dulce	91,000	0	0.26	0.007
Lagos de agua salada	0	85,400	-	0.006
Humedad del suelo	16,500	0	0.05	0.001
Atmósfera	12,900	0	0.04	0.001
Embalses	11,470	0	0.03	0.0006
Ríos	2,120	0	0.006	0.0002
Agua biológica	1,120	0	0.003	0.0001
Total	35,029,110		100	-
Total de agua en la tierra	1,385,000,000		-	100

Fuente: Lvovitch, 1967.

- Agua Superficial

Son las aguas continentales que se encuentran en la superficie de la Tierra. Pueden ser corrientes que se mueven en una misma dirección y circulan continuamente, como los ríos y arroyos; o bien estancadas como los lagos, lagunas, charcas y pantanos (Vilaseca, 2006).

Las aguas que discurren en la superficie de la tierra son muy importantes para los seres vivos, a pesar de que suponen una ínfima parte del total del agua que hay en el planeta. Su importancia reside en la proporción de sales que llevan disueltas, la cual es inferior en comparación con las aguas marinas. En general proceden directamente de las precipitaciones que caen desde las nubes (Vilaseca, 2006).

El agua dulce es el hogar de la más rica biodiversidad y de las especies más antiguas del planeta. Los ecosistemas de agua dulce contienen concentraciones de especies únicas que presentan el mayor porcentaje de diversidad en relación a su área, muy superior al de los ecosistemas terrestres y marinos (Vilaseca, 2006).

- Aguas Subterráneas

El agua subterránea representa una fracción importante del agua presente en cada uno de los continentes. Esta se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la tierra. El volumen del agua subterránea es mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar millones de km²(como el acuífero guaraní). El agua del subsuelo es un recurso importante y de este se abastece gran parte de la población mundial, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación (Gerencia de Aguas Subterráneas, 2000).

Es una creencia común que el agua subterránea llena cavidades y circula por galerías. Sin embargo, no siempre es así, pues puede encontrarse ocupando los intersticios (poros y grietas) del suelo, del sustrato rocoso o del sedimento sin consolidar, los cuales la contienen como una esponja. La única excepción significativa, la ofrecen las rocas solubles como las calizas y los yesos, susceptibles de sufrir el proceso llamado karstificación, en el que el agua excava simas, cavernas y otras vías de circulación, modelo que se ajusta a la creencia popular (Gerencia de Aguas Subterráneas, 2000).

2.2.2. Impacto de los pozos en el flujo del agua subterránea

El agua bombeada del sistema subterráneo causa que la capa freática baje de nivel y cambie la dirección de la corriente. Parte del agua que fluía hacia un arroyo, ya no lo hace y así mismo, por el bajo nivel causado en el manejo del recurso, se reduce el cauce del arroyo (Ortiz, 2007).

2.2.3. Calidad del agua subterránea

Los contaminantes que se introducen en la superficie de la tierra pueden infiltrarse a la capa freática y fluir hacia un punto de descarga, ya sea un pozo o un arroyo. También es importante saber sobre el ingreso potencial de contaminantes que pasan del arroyo hacia el sistema de agua subterránea (Ortiz, 2007).

En lo que respecta a su aptitud para acuicultura. Normalmente el agua subterránea es pobre en oxígeno disuelto, por lo que previo a utilizarse debe airearse. Puede también en algunos casos contener altas concentraciones de metales que tienen efecto directo sobre la producción.

2.2.4. Sobreexplotación del agua subterránea

El sistema de aprovechamiento más eficaz de un acuífero, para aprovechar al máximo sus recursos y no incurrir en sobreexplotación, es el de extraer anualmente una cantidad de agua igual o inferior a la de la recarga media interanual (Ortiz, 2007).

La sobreexplotación consiste en extraer más agua de la que entra en el sistema acuífero, lo que supone un consumo de las reservas que se reflejan en el descenso del nivel freático o piezométrico, hasta el punto que se secan los manantiales y disminuye el caudal de los ríos, creándose graves problemas de suministro. Si la sobreexplotación tiene lugar en los acuíferos de la costa conectados con las aguas marinas, el agua dulce se extrae en su totalidad y deja paso al agua salada del mar que invade el medio permeable terrestre según un proceso conocido con el nombre de “intrusión marina” que saliniza el agua subterránea de los pozos (Ortiz, 2007).

Se diferencian tres tipos de sobreexplotación, la explotación de los recursos anuales de una sola vez a un fuerte ritmo hasta estabilizar el bombeo en un determinado valor; sobreexplotación no destructiva que es la producida cuando se llega más allá de los límites antes mencionados durante poco tiempo; y sobreexplotación destructiva a la cual se conduce el acuífero cuando se prolongan las extracciones excesivas durante mucho tiempo, que lo hacen prácticamente inexplotable, bien por

la degradación de la calidad química de sus aguas, o bien, por motivos económicos derivados de la elevación desde una gran profundidad de las aguas subterráneas (Ortiz, 2007) .

2.2.5. Pozo

Orificio o túnel vertical perforado en la tierra, hasta una profundidad suficiente para alcanzar lo que se busca, normalmente una reserva de agua subterránea (originalmente) del nivel freático o materias como el petróleo (pozo petrolífero). Generalmente de forma cilíndrica, se suele tomar la precaución de asegurar sus paredes con piedra, cemento o madera para evitar su derrumbe (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002).

Los pozos utilizados para abastecer agua de uso doméstico, cuentan con un brocal (pared que sobresale del nivel del suelo hasta una altura suficiente para que nadie caiga al interior), un cigüeño o una polea para subir el cubo y una tapadera para evitar que caiga suciedad al interior (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002).

En las ciudades el nivel freático puede estar contaminado por filtración de aguas residuales, por lo que su agua se utilizará para jardinería, baldear los pisos, fregar, etc. en vez de para beber (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002).

2.2.5.1. *Calidad de agua de pozos*

Debido a que el agua subterránea se mueve a través de las rocas y la tierra del subsuelo, puede fácilmente disolver sustancias durante este movimiento. Por dicha razón, el agua subterránea muy frecuentemente puede contener más sustancias que las halladas en el agua superficial (Gerencia de Aguas Subterráneas, 2000).

2.2.6. Contaminación de pozos

La contaminación del agua puede definirse como la modificación de las propiedades físicas, químicas o biológicas que restringen su uso. Las sustancias que modifican la

calidad del agua de los acuíferos se dividen en: las presentes en la naturaleza y en aquellas producidas por las actividades del hombre, antropogénicas (Gerencia de Aguas Subterráneas, 2000).

Las fuentes de contaminación se pueden originar en la superficie del terreno como la agricultura; en el subsuelo por arriba del nivel freático, por ejemplo, basureros a cielo abierto; y en el subsuelo por debajo del nivel freático, como es el caso de pozos abandonados. (Gerencia de Aguas Subterráneas, 2000).

Los acuíferos costeros pueden contaminarse por intrusión salina y las fosas sépticas son, quizá, las fuentes de aguas residuales que más contribuyen a la contaminación del agua subterránea (Gerencia de Aguas Subterráneas, 2000).

La contaminación en pozos se puede originar de distintas formas como se pueden mencionar a continuación:

- Contaminación natural

Es común la salinización del agua por contacto con sedimentos marinos y salinos, o la incorporación de sustancias que forman los yacimientos metalíferos (Pb, Hg, Zn y Cu), no metalíferos, radioactivos y petrolíferos y la disolución de oligoelementos como F y As, a partir de sedimentos de origen volcánico (Auge, 2004).

- Contaminación artificial directa

Es la más frecuente y se la puede clasificar de acuerdo al sitio donde se produce (urbana y rural) o a la actividad que la genera (doméstica, industrial, agropecuaria).

- Contaminación urbana y rural

Vertidos domésticos, residuos de los escapes de motores, pérdidas en las redes cloacales, lixiviados de basurales, humos y desechos líquidos sólidos y semisólidos de la industria, así como empleo de fertilizantes y plaguicidas, desechos humanos y animales (Auge, 2004).

- Contaminación doméstica

Vertido de jabones, detergentes, lavandina, materia orgánica (alimentos, fecal, basura en general). Cuando no se dispone de desagües cloacales, el resultado es la generación de ambientes propicios para la reproducción bacteriana y la formación de NH_3 , NH_2^- y NO_3^- (Auge, 2004).

- Contaminación agropecuaria

Se origina por el empleo de plaguicidas y fertilizantes para mejorar la productividad. Los primeros (organoclorados y organofosforados), son altamente tóxicos como DDT, Aldrín, Dieldrín, Paratión, Malatión, Heptacloro, etc. Los carbonatos también son plaguicidas, aunque mucho menos tóxicos que los anteriores. Los fertilizantes más comunes son: materia orgánica, nitrogenada, fosforada y potasio (Auge, 2004).

La materia nitrogenada se oxida a NO_3^- que son muy solubles, estables y móviles, mientras que el P y el K, y sus derivados, son fijados con facilidad por las partículas arcillosas del suelo. El comportamiento del contaminante, en relación a su solubilidad, movilidad y degradabilidad, condicionan su permanencia y perdurabilidad en el medio (Auge, 2004).

Así, las bacterias provenientes de los vertidos fecales, rara vez subsisten más de cincuenta días en el agua si esta no posee una adecuada concentración de materia orgánica. Los NO_3^- por su parte pueden mantenerse en solución en forma casi indefinida, salvo que sean reducidos a NO_2^- , NH_4^+ , NH_3 o N_2 , por actividad bacteriana, o por otro medio reductor (Auge, 2004).

- Artificial inducida

Es la que se deriva de la sobre-explotación; la más común es la salinización en acuíferos costeros o por ascenso de agua salada en fondo en acuíferos continentales lentiformes, portadores de agua dulce.

2.2.7. Parámetros físico-químicos de agua de pozo

- Nitritos (NO_2^-)

La presencia de nitritos en el agua es un indicativo de contaminación de carácter fecal reciente. En aguas bien oxigenadas, el nivel de nitrito no suele superar 0.1mg/L. Cabe resaltar que el nitrito se halla en un estado de oxidación intermedio entre el amoníaco y el nitrato. Los nitritos en concentraciones elevadas reaccionan dentro del organismo con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitrosaminas de alto poder tóxico en animales y cancerígeno para los humanos (Prat; et al., 1999).

Valores por encima de 1.0 mg/L son totalmente tóxicos y representan un impedimento para el desarrollo de la vida piscícola y el establecimiento de un ecosistema fluvial en buenas condiciones. En general, la concentración de nitritos en el agua es muy baja, pero puede aparecer ocasionalmente en concentraciones inesperadamente altas debido a la concentración industrial y de aguas residuales domésticas (Vilaseca, 2006).

- Nitratos (NO_3^-)

Los nitratos constituyen la especie nitrogenada más abundante y de mayor interés en los cuerpos de aguas superficiales y/o subterráneas. En los primeros se halla en cantidades traza, en tanto que en los segundos, puede llegar a alcanzar niveles altos. La determinación de nitratos es importante ya que cuando se halla en elevadas concentraciones en las aguas de consumo humano, es causante de la enfermedad infantil conocida como “metahemoglobinemia”, que se caracteriza por la incapacidad de la sangre para absorber oxígeno (Metcalf; Eddy, 1995).

Los nitratos, así como los fosfatos, constituyen uno de los nutrientes esenciales para muchos organismos autótrofos fotosintéticos y en este sentido, los fenómenos de eutrofización de lagos, pueden estar relacionados directamente con una elevada concentración de nitratos en el agua (Prat; et al., 1999).

- Fosfatos (PO_4^{-3})

El fósforo se presenta en aguas naturales y residuales casi exclusivamente bajo la forma de fosfatos, (H_3PO_4 , acidoortofosfórico, HPO_3 , acidometafosfórico y $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$, acido pirofosfórico), siendo el más importante de ellos el ortofosfato. Todas las demás formas de fosfato se convierten a ortofosfato por calentamiento. Algunas veces, aunque con menor frecuencia, el fósforo puede estar presente en el agua bajo la forma de estructuras orgánicas tales como fosfolípidos y fragmentos de cadenas peptídicas (Metcalf; Eddy, 1995).

Debido a que en la mayoría de los cuerpos de agua existen cantidades relativamente altas de iones calcio y magnesio y a que los fosfatos de dichos elementos son altamente insolubles, la concentración de fósforo bajo la forma de ortofosfato o fosfato, en las aguas naturales, es relativamente baja y en general rara vez excede los 10 ppm. La materia orgánica y sedimentos precipitados suelen contener una mayor cantidad de fósforo que los encontrados en solución (Prat; et al., 1999).

El fósforo en el agua proviene de diversas fuentes. De algunos procesos de tratamiento de aguas que utilizan pequeñas cantidades de fosfatos condensados como agentes floculantes; de los procesos de lavado con detergentes tanto a nivel industrial como doméstico; de las aguas residuales de los procesos agrícolas, en donde los ortofosfatos constituyen uno de los principales productos fertilizantes (Prat; et al., 1999).

Debido a que el fósforo es uno de los elementos esenciales que limitan la productividad primaria en muchos cuerpos de agua, las descargas de vertimientos fosfatados producen en los cuerpos receptores un crecimiento abrupto y repentino en la biota foto sintetizadora, que generalmente acaba por cubrir la superficie y asfixiar los lagos. Por ello, es importante conocer las concentraciones de fósforo en las aguas residuales, antes de verterlas a los cuerpos receptores (Prat; et al., 1999).

- Amonio (NH_4^+)

Existe una forma disociada del Amoniaco (NH_3) que es el Amonio (NH_4^+) y es mucho menos tóxica. La proporción entre el amoniaco y el amonio se debe al pH y a la temperatura del agua (cuanto más alto sean el pH y la temperatura más Amoniaco y menos amonio se obtendrá) (Prat; et al., 1999).

Generalmente el NH_4^+ , o el amoniaco libre, aparecen solo como trazas en aguas subterráneas, aumentando su concentración cuando el medio es fuertemente reductor. Este compuesto es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas nitrogenadas que naturalmente se incorporan al agua subterránea (Prat; et al., 1999). Dado que la presencia de amonio favorece la multiplicación microbiana su detección en cantidades significativas en el agua se considera como indicación de contaminación reciente del agua (Prat; et al., 1999).

Los parámetros físico-químicos analizados en la acuicultura, cuentan con limitantes permisibles mínimos y máximos que se deben tomar en cuenta para mantener un control en cualquier cultivo (Cuadro No. 2).

Cuadro No. 2. Límites permisibles para la calidad de agua utilizada en acuicultura

<i>Parámetro</i>	<i>Límites permisibles</i>
Temperatura	35°C
Oxígeno Disuelto	2.0mg/L – 6.4mg/L
Salinidad	0ppt-35ppt
Nitrato NO_2^-	1.0mg/L
Nitrato NO_3^-	1.5 mg/L a 2.5 mg/L
Fosfatos PO_4^{-3}	0.15 mg/L- 1.0mg/L
Amonio NH_4^+	0.50mg/L
pH	6.5-8.5

Fuente: Lovitch, 1967.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Establecer la calidad de las fuentes de agua de la Estación Experimental de Monterrico, Taxisco, Santa Rosa.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la calidad de los parámetros físico-químicos de las fuentes de agua que abastecen la Estación Experimental Monterrico, Taxisco, Santa Rosa.
- Identificar el período entre marzo - septiembre donde la calidad de las fuentes de agua que abastecen la Estación Experimental de Monterrico, Taxisco, presenta los requerimientos físico-químicos para uso acuícola.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación geográfica

La investigación se realizó en la estación experimental de Monterrico, Taxisco, Santa Rosa, la cual pertenece a la Universidad de San Carlos de Guatemala, administrada por el Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA (Figura No.1).

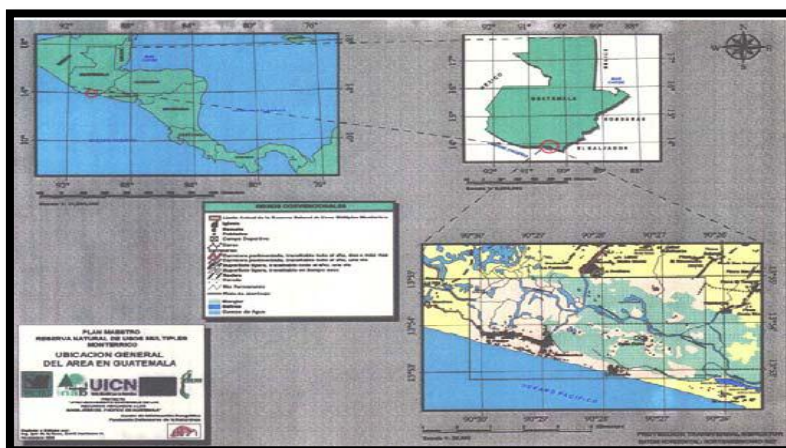


Figura No. 1. Ubicación geográfica Estación Experimental Monterrico (UNESCO, 1992).

Se encuentra ubicada sobre la franja costera del pacífico en el departamento de Santa Rosa, región IV o región sudeste, a una altura de 0.8 m.s.n.m. Delimitada por las coordenadas cartográficas entre los meridianos 90°26'21" y 90°30'14" longitud oeste y paralelos 13°58'28" y 14°0'38" latitud norte. Se encuentra catalogada como Bioma Sabana Tropical Húmeda o Bosque Seco-Subtropical templado con transacción a Bosque Húmedo Subtropical templado (Rivas, 2009).

La estación experimental de Monterrico se enfoca en la producción de tilapia gris *O. niloticus* y camarón marino *L. vannamei*, cuenta con una batería de ocho estanques de tierra revestidos y veintidós piletas de concreto, utiliza cinco pozos de agua dulce y uno de agua salada, (Figura No. 2), la distribución de agua de los mismos es variable ya que se utilizan para las instalaciones de la estación, uso doméstico y para los diferentes cultivos acuícolas en las fases de producción, (Figura No. 3).

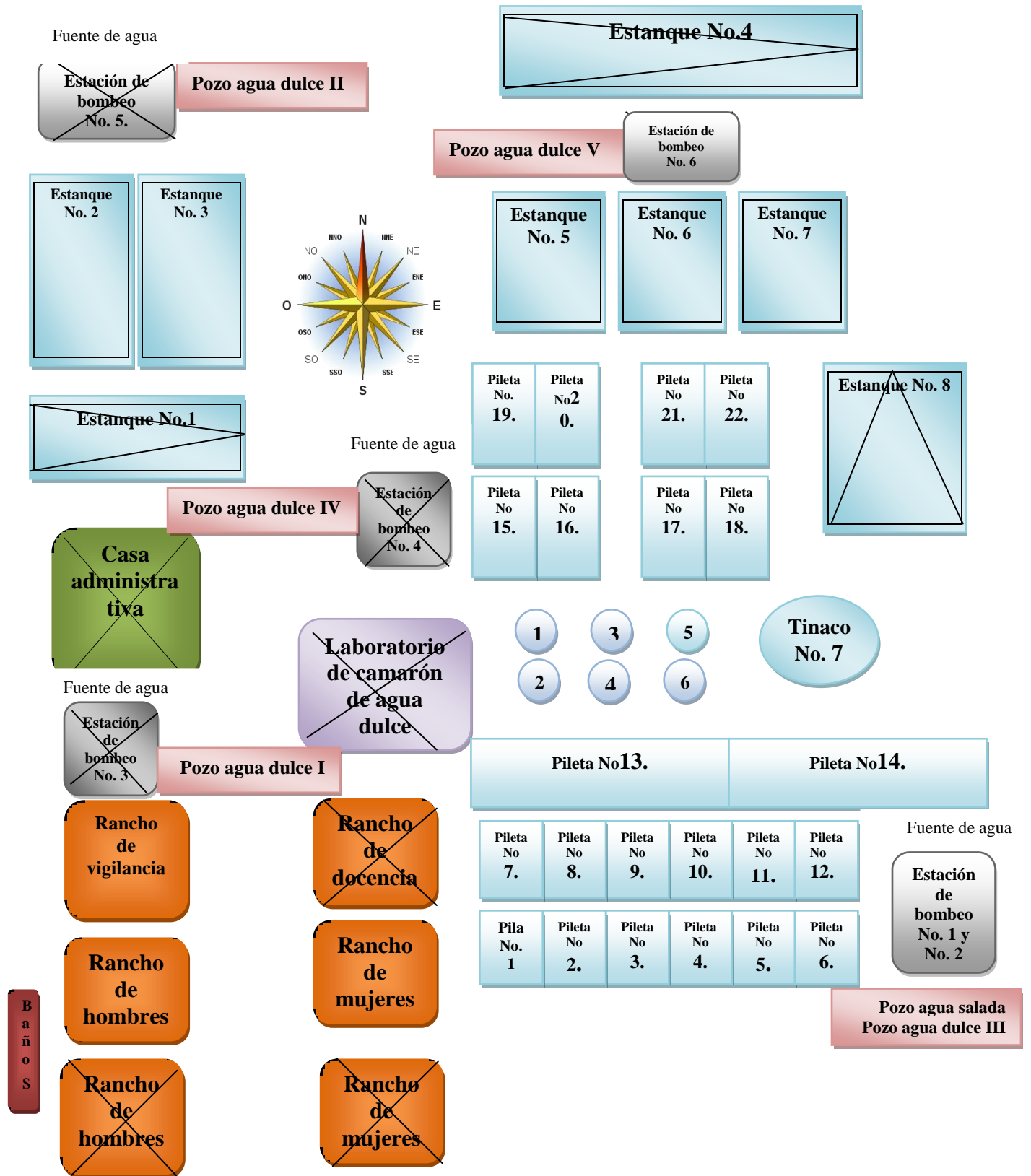


Figura No. 2. Croquis de la Estación Experimental de Monterrico (Trabajo de Campo, 2,11).

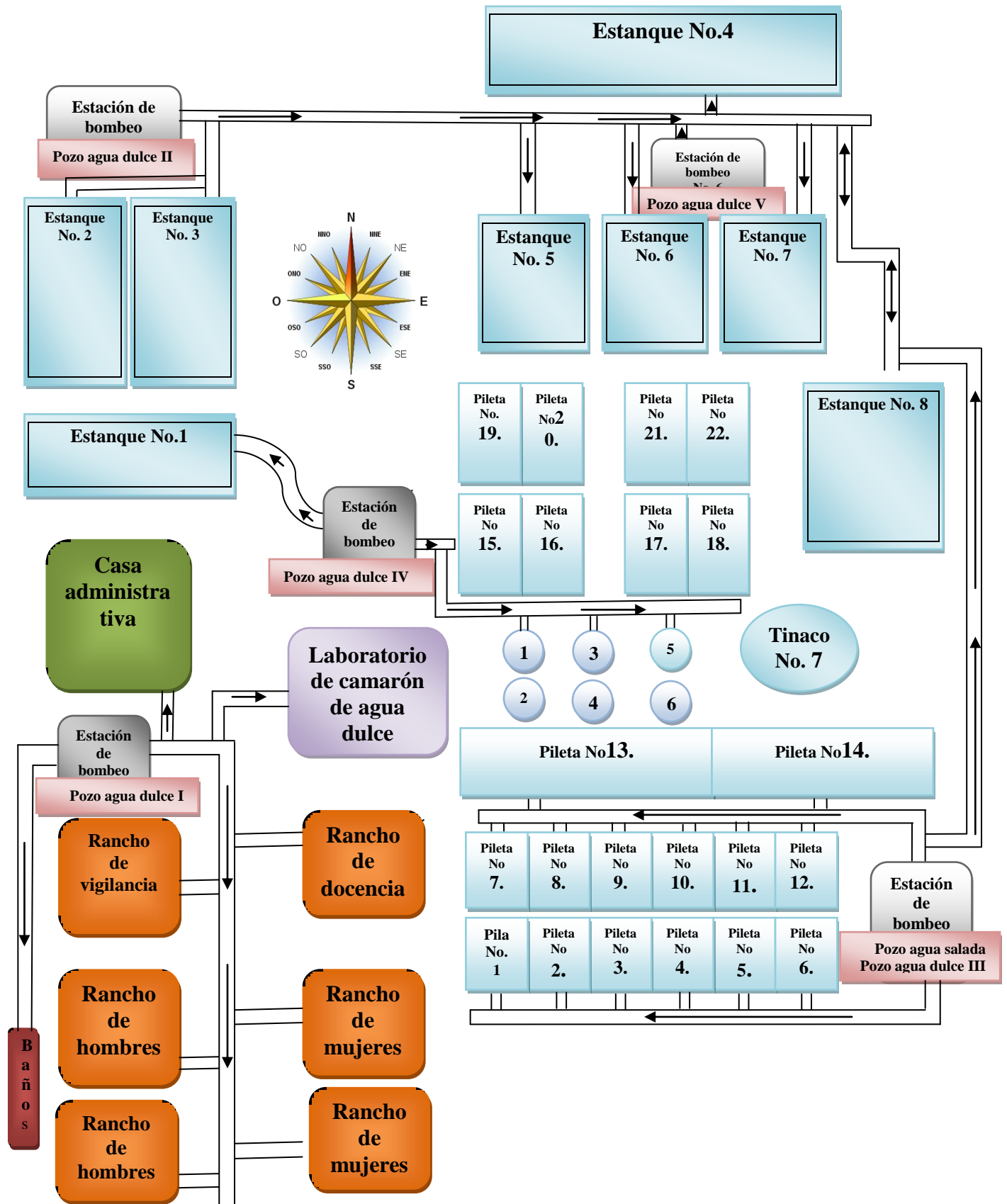


Figura No. 3. Distribución de tuberías hídricas de la Estación Experimental de Monterrico (Trabajo de Campo, 2011).

4.2. Variables

Las variables de calidad de agua evaluadas *in situ* fueron, temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, concentración de oxígeno disuelto (mg/L), y salinidad (ppt).

Ex situ, en el Laboratorio de Investigación Aplicada (LIA) del CEMA-USAC se realizaron los análisis de Nitritos NO_2^- (mg/L), Nitratos NO_3^- (mg/L), Fosfatos PO_4^{3-} (mg/L), Amonio NH_4^+ (mg/L).

4.3. Muestreo

La Estación Experimental de Monterrico, Taxisco, Santa Rosa, cuenta con 6 pozos distribuidos dentro del área de producción y reproducción de organismos acuícolas. El monitoreo de parámetros físico-químicos (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , OD, $^{\circ}\text{C}$, ppt, pH) y la recolección de las muestras fue individual para cada una de las fuentes de agua, siendo un total de 6 muestras por cada monitoreo mensual, haciendo un total de 42 análisis al finalizar la investigación. (Figura No.4).



Figura No. 4. Muestras de agua por pozo (mensual) para análisis de parámetros fisicoquímicos (Trabajo de campo, 2011).

La utilización de cada una de las fuentes de agua depende de la salinidad y de la especie que se desee producir, engordar o reproducir dentro de la estación, por lo que la identificación de cada una de estas es importante para saber cuales están acondicionadas a cada uno de los estanques y se pueda tomar en cuenta la que mejor se acople a las necesidades de cultivo (Cuadro No. 3).

Cuadro No. 3. Identificación de pozos dentro de la Estación Experimental de Monterrico.

Identificación	Características
Pozo de agua salada	Bomba de 10 hp. Con una fuente de energía trifásica utilizada para abastecimiento de estanques No.4, No. 6 y No.7.
Pozo de Agua dulce I	Reservorio de agua para uso doméstico y llenado de piletas.
Pozo de agua dulce II	Pozo ubicado en entrada principal con bomba de 12Hp. Es utilizada para llenar estanques del No.2 al No. 8.
Pozo de agua dulce III	Ubicado dentro de la bodega de la bomba de agua salada y abastece las piletas del No. 1 a la No. 12.
Pozo agua dulce IV	Bomba trifásica que abastece las piletas de la No. 15 a la No. 22.
Pozo agua dulce V	Bomba de 10 Hp. Ubicada entre los estanques No. 4, No 6 y No 7.

Fuente: Trabajo de campo, 2011.

Para la medición de parámetros físico-químicos de las fuentes de agua de la Estación Experimental de Monterrico se utilizó la siguiente metodología y equipo:

4.3.1. Monitoreo de parámetros *in situ*

El monitoreo fue realizado durante las primeras horas del día. Se aforó cada tubería como parte del cuidado que se debe tener para que la muestra sea representativa y así no contenga agua de diferentes pozos o incluso agua de días anteriores ya que si no se les dio uso a las bombas el agua que quedó dentro de la tubería pudo alterar los resultados de cada análisis.

Para la medición de los parámetros *in situ* como la concentración de oxígeno disuelto (OD) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$), fue colocada una muestra de agua de 2.5 galones. Se estabilizó y se introdujo la sonda multiparamétrica Marca YSI serie 550A, por 2 minutos o hasta que se estabilizó la lectura, todos los datos de campo fueron registrados en una bitácora que incluyó información de fecha, número de muestreo y los parámetros evaluados. (Figura No. 5).



Figura No. 5.Medición de parámetros *in situ* (Trabajo de campo, 2011).

4.3.2. Monitoreo parámetros *ex situ*

Los recipientes utilizados para la captación de las muestras analizadas fueron envases de plástico con cierre hermético, lavados para evitar residuos materiales extraño; contemplando cada una de las especificaciones (encendido previo de cada bomba y aforamiento de la tubería) para no alterar la muestra.

La toma de la muestra de agua se realizó directamente de la salida de agua más cercana al pozo evaluado, desinfectando cada uno de los envases 3 veces con la misma agua de los puntos de muestreo. Estas fueron transportadas en frío (4°C) dentro de una hielera. El tiempo de transporte y conservación no excedió las 24 horas hasta su análisis.

Los análisis *ex situ* de parámetros físico-químicos fueron realizados en el Laboratorio de Investigación Aplicada (LIA), (Figura No. 6), del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura CEMA, en la Universidad San Carlos de Guatemala. El equipo para los análisis es un Colorímetro Marca NOVA, serie 3000. Se utilizaron los kits comerciales marca Merck serie Spectroquant para uso con Colorímetro Nova; los análisis de Nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{-3}) y amonio (NH_4^+). La determinación de salinidad de cada una de las muestras se utilizó un refractómetro marca KYOWA serie SRS (Figura No. 7).



Figura No. 6. Análisis de parámetros *ex situ*, (Trabajo de campo, 2011).



Figura No. 7. Análisis de concentración de salinidad de fuentes de agua de Estación Experimental Monterrico (Trabajo de campo, 2011).

4.3.3. Frecuencia de muestreos

Las variables concentración de oxígeno disuelto (OD), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (ppt), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^-) y amonio (NH_4^+), se monitorearon una vez por mes, iniciando en el mes de marzo del año 2011 y finalizando en el mes de septiembre del mismo.

4.4. Registro y bases de datos

Todos los parámetros evaluados durante la investigación se registraron en una bitácora de campo donde se utilizó como referencia la información de: fecha, lugar, variables monitoreadas, identificación de cada una de las muestras colectadas y los resultados obtenidos de los análisis, (Anexo No.1). Los resultados se trasladaron a un ordenador para su correlación y análisis

Los datos obtenidos fueron representados en figuras que sirvieron para la interpretación de los resultados que se obtuvieron de los muestreos realizados y así hacer un análisis detallado del comportamiento de la calidad de las fuentes de agua de la Estación Experimental de Monterrico.

4.5. Análisis de la información

De cada uno de los pozos evaluados se realizó un cuadro de referencia que incluye los valores promedio, límite inferior y límite superior de todas las variables de calidad de agua evaluadas. Con referencia a estos cuadros de valores, (Anexos No. 2-7), se hizo un análisis y descripción de las actividades acuícolas para las cuales el agua es apropiada. .

El análisis de la información permitió identificar parámetros de calidad de agua críticos que deben monitorearse con regularidad o en condiciones particulares. Así también se pudo identificar factores de riesgo que puedan desembocar en problemas si no son monitoreados y manejados adecuadamente.

4.6. Diseño estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos se utilizó la estadística descriptiva, en la cual se evaluó las medidas de tendencia central y desviación estándar (sd), de cada una de las variables descritas dentro de la investigación, a su vez se realizó una comparación de medias utilizando una media establecida como cantidad máxima permisible de parámetros físico-químicos comparando con datos observados en cada uno de los pozos.

Los resultados obtenidos al analizar la calidad de las fuentes de agua de los pozos de la Estación Experimental Monterrico, fueron comparados con los valores de referencia (límites permisibles) recomendados para la producción de especies acuícolas, utilizando una prueba de medias con un $\alpha=0.05$, para tamaño de muestras pequeñas.

Donde:

$$t = \frac{X - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

X: Parámetro muestreado

μ_0 : Parámetro permisible

σ : Desviación Estándar

n: Numero de muestras

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Temperatura

La temperatura promedio del agua durante el período de evaluación fue de 30.76°C. El rango de temperaturas observado fue de 29° a 34°C. El pozo II presentó una temperatura media ligeramente menor a la de los otros pozos (29.44°C), este comportamiento se repitió durante todo el período de evaluación. La temperatura mínima se observó en el mes de junio en el pozo I y la máxima en el mes de septiembre, en el pozo IV, el cual presentó temperatura superior a los otros pozos (promedio de 31.45°C).

El comportamiento de la temperatura es bastante constante en todos los pozos evaluados durante todo el período de investigación. La máxima variación entre un muestreo y otro es de 4.2°C entre los meses de junio y julio (Figura No. 8), según (Lovitch, 1967), indica que la temperatura adecuada para la acuicultura es hasta 35°C; por lo que este factor no sería una limitante en los cultivos de tilapia gris y camarón marino de la estación experimental.

Tanto la temperatura media como las temperaturas extremas observadas se encuentran dentro de los rangos aceptables, para el cultivo de las especies acuícolas de interés comercial para el país como la tilapia (25 °C – 30 °C) *O. niloticus* (Chhorn L; et al, 2006), camarón marino del género *Litopenaeus* (27 °C – 32 °C), *L. vannamei*, (Auró A; et al, 2006) e investigaciones sobre especies nativas con potencial acuícola como lo es el pejelagarto *A. tropicus*.

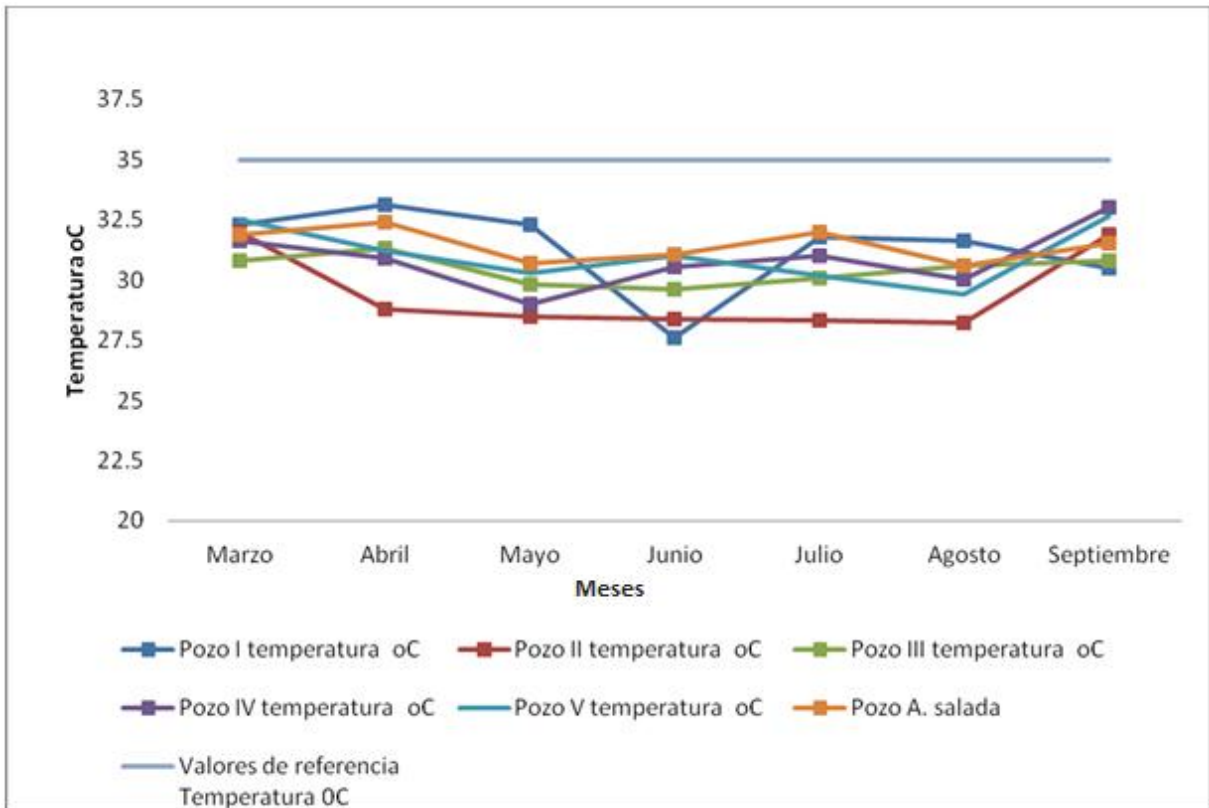


Figura No. 8. Comportamiento de temperatura de pozos, de marzo a septiembre del 2011 (Trabajo de campo, 2011).

5.2. Oxígeno

El oxígeno promedio durante el periodo de la evaluación fue de 3.78 mg/L. El rango de oxígeno disponible fue de 1.13 mg/L a 5.72 mg/L. En el mes de agosto se tuvo un decremento en la cantidad de oxígeno disponible en los pozos I con 1.53 mg/L y de agua salada con 1.71 mg/L. Las fuentes No. III y No. IV presentaron bajas de oxígeno en el mes de abril mientras que en el mes de junio el No. IV presentó el valor más bajo de toda la evaluación. El promedio de oxígeno que alcanzó una máxima concentración fue de 3.18 mg/L en el mes de septiembre. El comportamiento de los pozos No. II, No. III y el de agua salada fueron los que mantuvieron menos variación durante todos los meses evaluados. (Figura No.9).

Para usos acuícolas el promedio de oxígeno disponible es apto para cultivos de especies de interés acuícola dentro de la granja. A lo largo de la evaluación se

presentó una oscilación en los resultados, los cuales no influyen en el proceso de engorde de tilapia *O. niloticus* (Chorn L; et al, 2006), camarón marino del género *Litopenaeus L. vannamei* (Auró A; et al, 2006) y especies nativas de interés.

Los rangos mínimos de oxígeno para cultivo de especies acuícolas como tilapia *O. niloticus* y camarón marino *L. vannamei* tienen que ser superiores a 2 mg/L, (Lovitch, 1967). Es importante que este parámetro esté por encima de los límites inferiores permisibles para evitar el estrés y limitar el consumo de alimento en los organismos y lograr así tener un mejor rendimiento del sistema cultivo, en casos en donde los niveles de oxígeno bajen de los límites establecidos es importante tener diferentes equipos y sistemas de aireación para contrarrestar el problema.

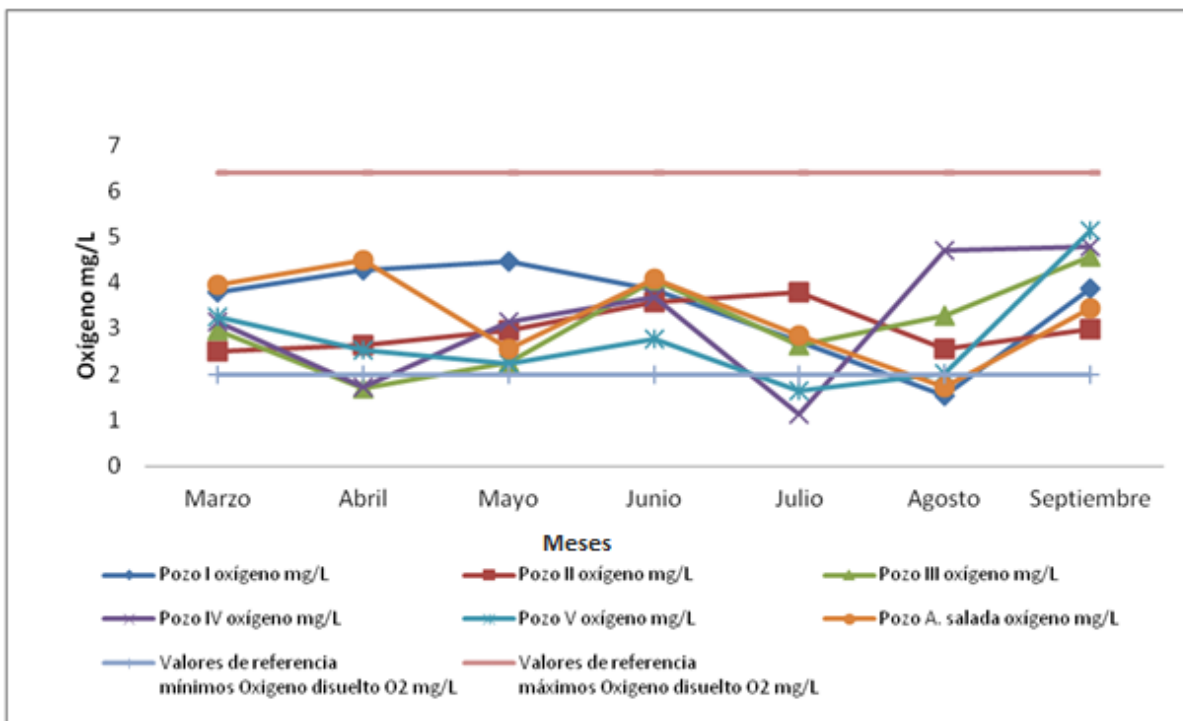


Figura No. 9. Comportamiento del Oxígeno disuelto en pozos, de marzo a septiembre del 2011 (Trabajo de campo, 2011).

5.3. Salinidad

La salinidad promedio durante toda la evaluación fue de 5.76ppt. El abastecimiento de agua salada tuvo la mayor concentración de salinidad con un promedio de 23.15 ppt. esto debido a que este tiene mayor influencia del mar. Sin embargo los pozos I, II, III, IV y V, presentaron una estabilidad en toda la evaluación.

El mes de mayo presentó un incremento de salinidad en los pozos I y II, debido a la evaporación del agua que se genera por el aumento de la temperatura que existe durante la época seca (Figura No. 10).

Los valores obtenidos en la evaluación de los pozos de agua dulce permiten el cultivo exitoso de tilapia *O. niloticus*, debido a que los valores mínimos y máximos (0-4 ppt), (Salgado N; et al, 2004), son aceptables, en lo que respecta al pozo de agua salada presentó resultados que están dentro de los rangos permisibles para el cultivo de camarón marino *L. vannamei*.

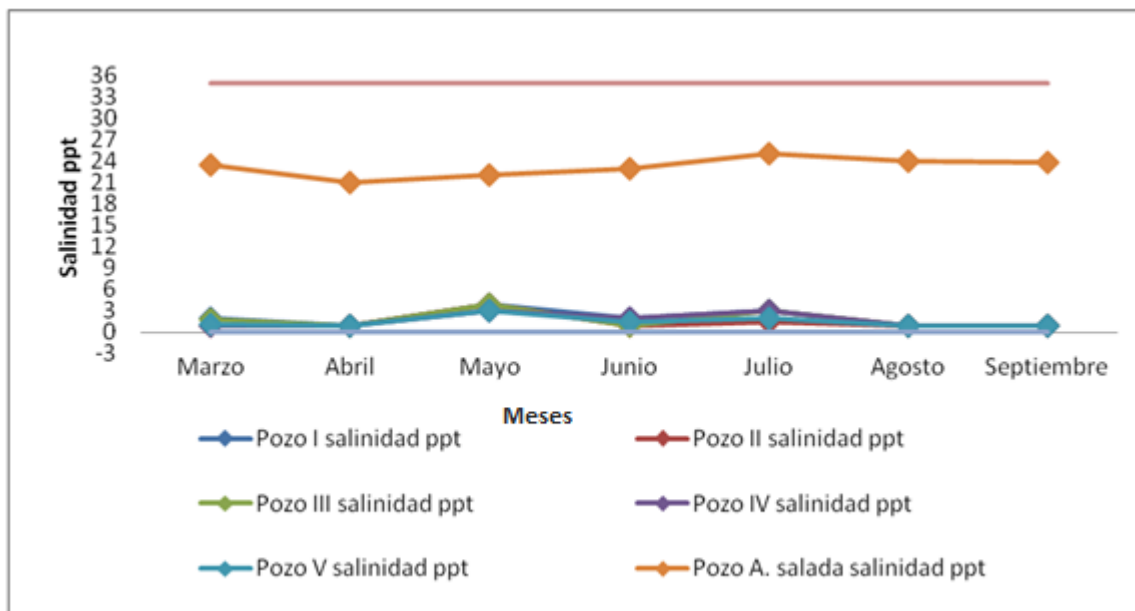


Figura No. 10. Comportamiento de la salinidad en pozos, de marzo a septiembre del 2011 (Trabajo de campo, 2011).

5.4. pH

El comportamiento promedio durante el análisis de pH fue de 6.87, los rangos mínimos son 6.5 y máximos de 7.5; en el mes de marzo y abril el pozo de agua salada se mantuvo en un valor de 7.0, el único pozo que tuvo un incremento significativo en el mes de abril fue el pozo II (Figura No. 11).

La tendencia en el transcurso de la evaluación demuestra que los niveles de pH en los pozos que abastecen a la estación son aceptables para cultivos acuícolas de las especies que actualmente se producen. Reportes anteriores presentan valores de 7.5 (Rivas S, 2009), lo que indica que en los últimos años en la Estación Experimental de Monterrico no ha existido una variación significativa de pH.

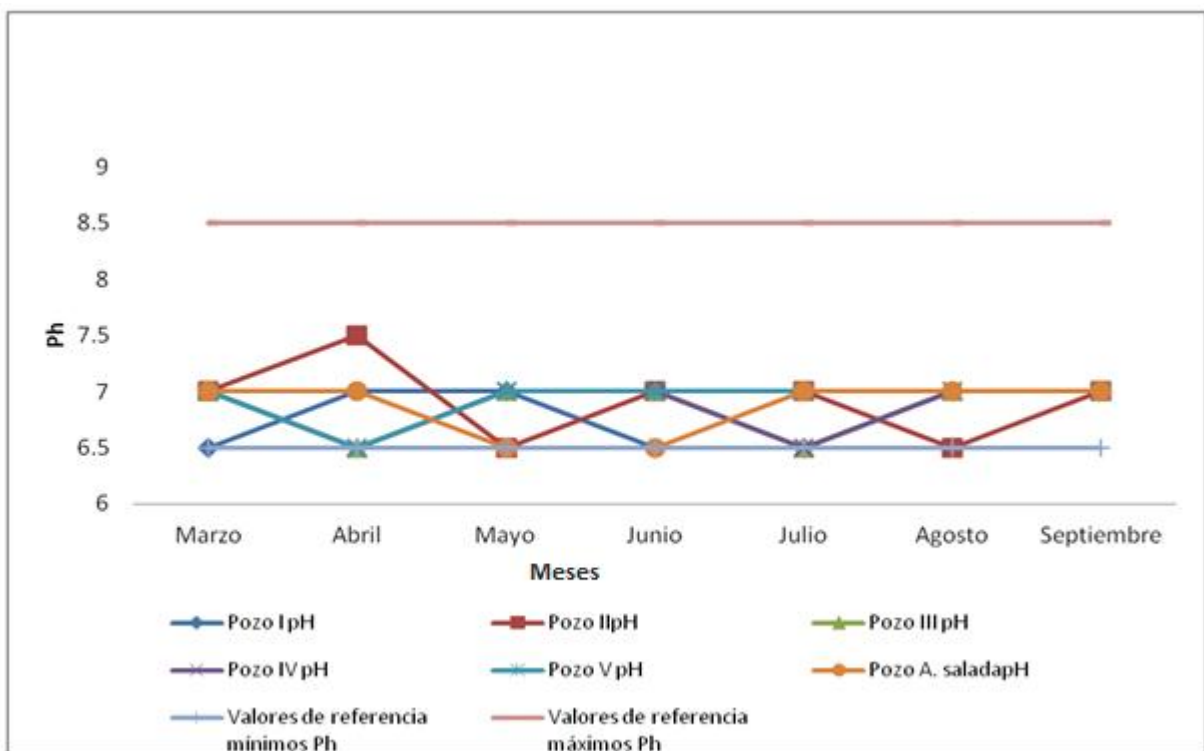


Figura No. 11. Comportamiento del pH en pozos, de marzo a septiembre del 2011 (Trabajo de campo, 2011).

5.5. Nitritos NO_2^-

El comportamiento de los nitritos NO_2^- en la evaluación indican que el promedio de concentración es de 0.34mg/L, con un valor máximo identificado de 0.67 mg/L en el pozo IV, mientras que el valor mínimo fue de 0.07mg/L en el pozo de agua salada. El rango máximo permisible es de 1 mg/L, el cual en ninguno de los 6 pozos fue sobrepasado. Las concentraciones de nitritos NO_2^- están directamente relacionadas con las oscilaciones de los nitratos y el amonio (Prat; et al, 1999).

La estabilidad de este nutriente en las fuentes que abastecen la granja es de importancia debido a la problemática que presentarían resultados fuera de los parámetros de referencia en la línea de producción de los organismos de interés con los que cuenta la estación (Figura No.12).

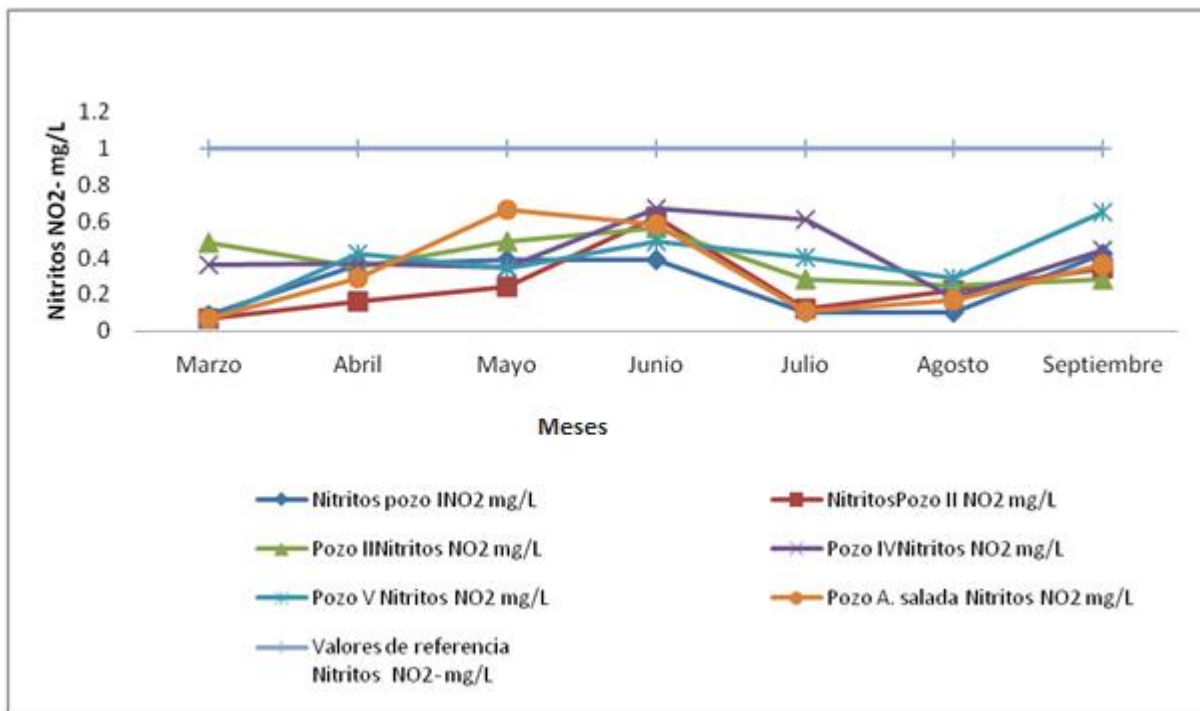


Figura No. 12. Comportamiento de Nitritos NO_2^- en pozos, de marzo a septiembre del 2011 (Trabajo de campo, 2011).

5.6. Nitratos NO_3^-

Los resultados de nitratos NO_3^- en las fuentes de agua que abastecen a la Estación Experimental de Monterrico se encontraron fuera de los rangos máximos permisibles para uso acuícola en toda la época del año, ya que se tuvo un promedio de 7.86 mg/L.

En el mes de abril se observa un aumento significativo en todos los puntos de muestreo, teniendo un promedio de 12.39 mg/L, esto pudo haber sido causado por los fertilizantes de uso agrícola que son aplicados con frecuencia en las áreas cercanas a la costa sur, los cuales debido a la escorrentía afectan el comportamiento natural de este tipo de parámetros en un cuerpo de agua. Es importante mencionar que este mes es el de mayor afluencia turística, por lo que las descargas de aguas negras aumentan significativamente pudiendo afectar el comportamiento del Canal de Chiquimulilla, el cual tiene influencia directa con los pozos debido al intercambio que tiene por medio de infiltración hacia los mantos freáticos. En el mes de mayo se produjo una baja considerable en los niveles de este nutriente observando un promedio de 0.95 mg/L.

Existe nuevamente otro aumento de nitratos en el mes de julio en los puntos II, III y IV, debido al incremento de las fuentes nitrogenadas causadas por las lluvias y la escorrentía, que interfieren en gran parte con el comportamiento de este parámetro, principalmente en los pozos por el intercambio de agua que se da debido a la infiltración, (Figura No. 13).

Cabe resaltar que de acuerdo los resultados obtenidos dentro de la evaluación, para la producción de organismos de interés comercial dentro de la granja los valores reportados pueden llegar a ser perjudiciales e incluso mortales si no se toman medidas de control, ya que el aumento de estos niveles puede llegar a generar pérdidas representativas para la granja.

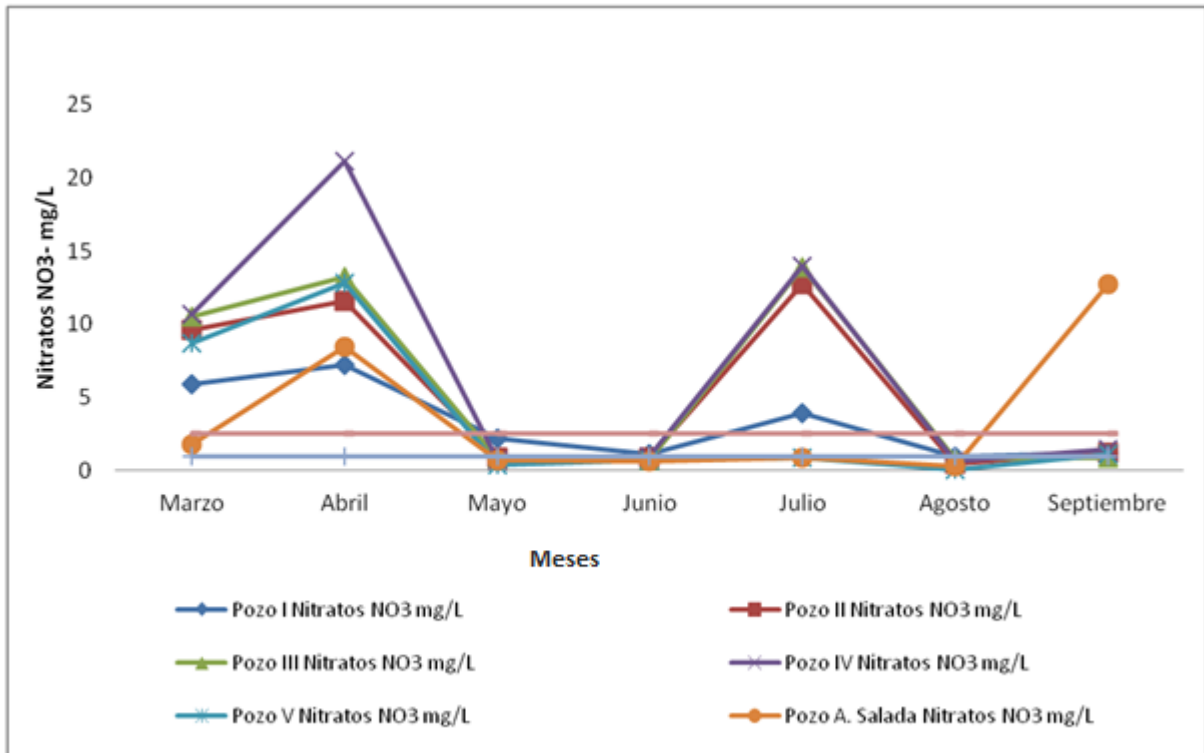


Figura No. 13. Comportamiento de Nitratos NO_3^- en pozos, de marzo a septiembre del 2011 (Trabajo de campo, 2011).

5.7. Fosfatos PO_4^{-3}

Las fuentes de agua que abastecen la Estación Experimental de Monterrico, según los resultados obtenidos dentro de la evaluación presentan niveles de fosfatos PO_4^{-3} con un promedio de 1.37 mg/L del mes de marzo al mes de septiembre.

En el mes de julio el pozo III presenta aumento significativo de fosfatos teniendo como rango máximo 12.2 mg/L y mínimo de 0.46 mg/L, esto puede ser debido a la influencia de las lluvias las cuales por escorrentía dan un aporte de desechos urbanos, agrícolas y en especial polifosfatos contenidos en detergentes, los cuales dejan como resultado un incremento de fósforo en los cuerpos de agua tal el caso del Canal de Chiquimulilla, dejando como consecuencia la infiltración de estos nutrientes a los mantos freáticos.

Al observar la tendencia de los resultados, se puede mencionar que en los meses de marzo a julio, los límites inferiores y superiores permisibles no fueron sobrepasados, encontrando gran estabilidad en todos los pozos analizados (Figura No. 14).

En los procesos productivos de las especies que se cultivan actualmente en la Estación Experimental, los niveles de fosfatos PO_4^{-3} no influyen en el desarrollo del mismo, y en los meses de julio y agosto, las elevaciones de este nutriente pueden ser mitigables a través de medidas preventivas durante el desarrollo del cultivo.

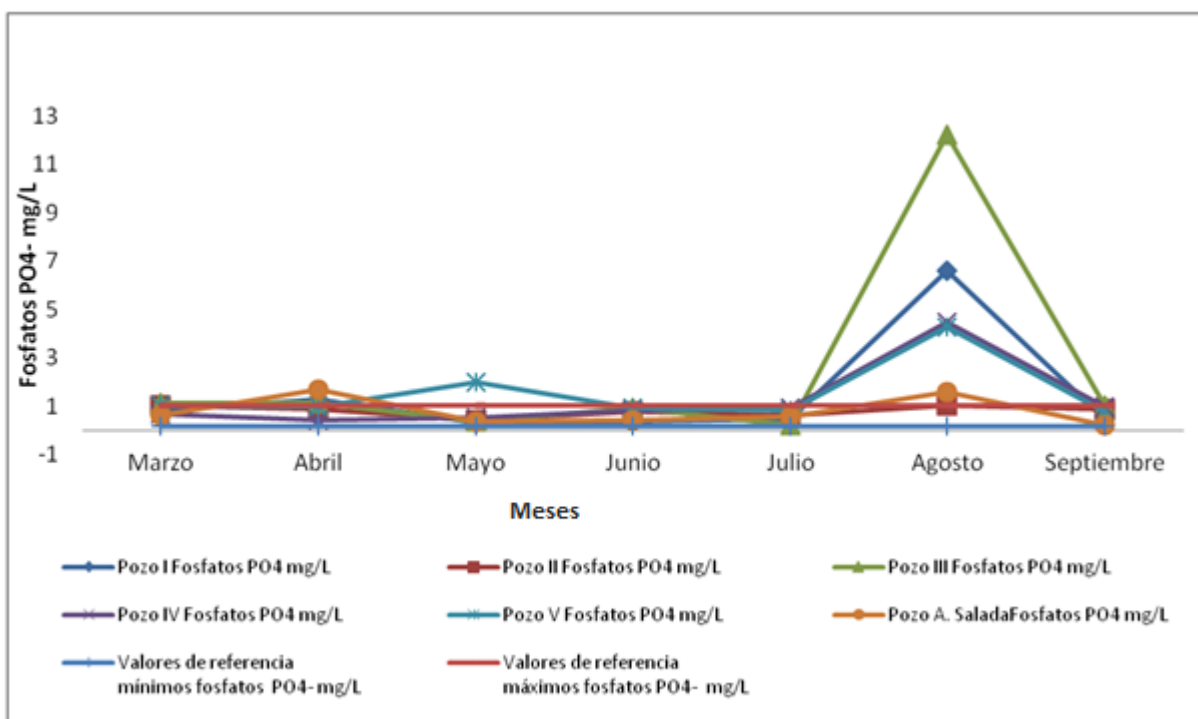


Figura No. 14. Comportamiento de los fosfatos PO_4^{-3} en pozos, de marzo a septiembre del 2011 (Trabajo de campo, 2011).

5.8. Amonio NH_4^+

La cantidad de amonio en las fuentes de agua que abastecen a la Estación Experimental de Monterrico en el periodo de marzo a septiembre, presentó un promedio de 0.64mg/L. Los meses de julio y agosto tuvieron incremento donde sobrepasó los niveles máximos permisibles en los pozos III y de agua salada, (Figura No. 15).

El pozo V tiene el índice más alto de amonio NH_4^+ en el mes de agosto, presentando 8.5mg/L siendo este a su vez el más alto dentro de todas las muestras analizadas, el cual sobrepasa el valor permisible de amonio para cultivos acuícolas que es hasta 1mg/L, este incremento se puede relacionar con diversos factores como altas lluvias de la época y la profundidad del pozo de captación (12m) el cual hace que los contaminantes se presenten en mayor abundancia debido a la poca infiltración del suelo. Cabe resaltar la importancia de controlar el pH de un cuerpo de agua ya que el amonio pasa a amoniaco con pH arriba de 7.0, el cual perjudicial para el cultivo de organismos acuáticos, (Wheaton, 1982).

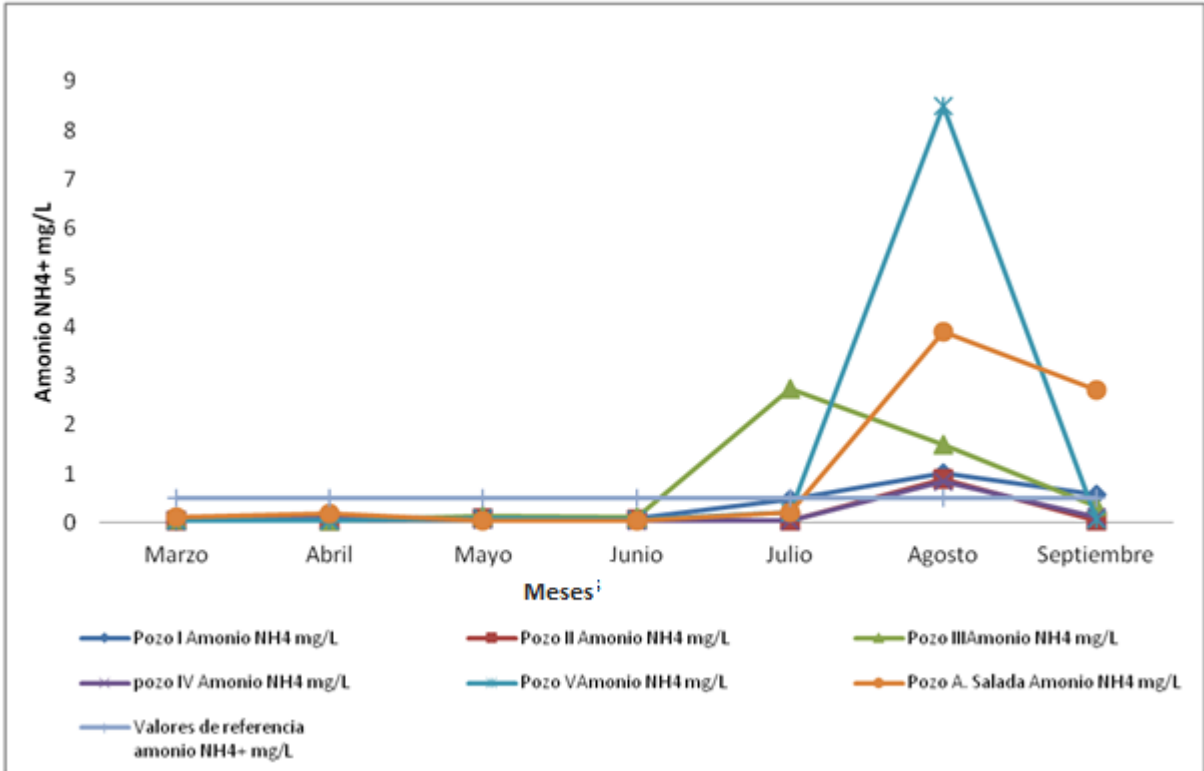


Figura No. 15 Comportamiento del amonio NH_4^+ en pozos, de marzo a septiembre del 2011 (Trabajo de campo, 2011).

VI. CONCLUSIONES

- La calidad de las diferentes fuentes de agua que abastecen a la Estación Experimental de Monterrico es adecuada para la producción de especies acuícolas de interés comercial, como lo son la tilapia *O. niloticus*, camarón marino *Litopenaeus. vannamei* y especies nativas.
- Los niveles de nitratos NO_3^- en los pozos III, V y el de agua salada superaron los niveles máximos permisibles para acuicultura.
- El agua del pozo V presentó concentraciones elevadas de amonio NH_4^+ en los meses julio y agosto, parámetro que puede ser perjudicial en los cultivos acuícolas.
- En el período de julio-septiembre el agua del pozo III sobrepasó los límites permisibles de fosfatos PO_4^{-3} , debidos al aporte de desechos influenciados por las lluvias de estos meses.

VII. RECOMENDACIONES

- Analizar periódicamente los niveles de nutrientes de las fuentes de agua que abastecen a la Estación Experimental Monterrico, debido al incremento en los meses de julio y agosto de los parámetros Fosfatos PO_4^{-3} y Amonio NH_4^+ .
- Restringir el uso de los pozos que mantengan niveles elevados de nutrientes que pueden ser perjudiciales para la producción de especies de interés y rotar el uso de las fuentes de agua durante el periodo de julio y agosto para que las mismas puedan ser contrarrestadas con el uso de agua de mejor calidad.
- Tener un control permanente sobre las posibles enfermedades que puedan presentar los cultivos de la Estación Experimental Monterrico, ya que dependiendo de la época y el uso de la fuente de agua (recambios y/o inicio de cultivos), pueden alterar el comportamiento productivo de las especies producidas dentro de la granja.
- Monitorear el Canal de Chiquimulilla en distintos periodos para evaluar el impacto que tiene este sobre las fuentes de agua que abastecen a la Estación Experimental de Monterrico.
- Utilizar equipo de aireación en los estanques de producción de tilapia *O. niloticus* y camarón marino *L. vannamei*, en temporadas de bajas de oxígeno donde la producción se pueda poner en riesgo debido a la elevación de nitratos y amonio dentro del sistema.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- 8.1. Auge, M. 2004. Hidrogeología ambiental. Buenos Aires, SEGEMAR. s.p. (Serie Contribuciones Técnicas: Ordenamiento Territorial, no. 5).
- 8.2. Auró, A; Ocampo, L. 2006. Libro del camarón. México, Laboratorio Avi-Mex. s.p.
- 8.3. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, PE. 2002. Pozos de agua: guía de perforación manual. Lima, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. s.p.
- 8.4. Chhorn, L; Carl, D. 2006. Tilapia biology: culture and nutrition. United States, University of Florida. s.p.
- 8.5. Gerencia de Aguas Subterráneas, MX. 2000. Manuales de difusión y divulgación sobre temas selectos de agua subterránea: contaminación de agua Subterránea (II parte) (en línea). México, Subdirección General Técnica. Consultado 01 mar. 2011. Disponible en http://www.imta.gob.mx/index.php?Itemid=80&catid=52:enciclopedia-del-agua&id=181:agua-subterranea&option=com_content&view=article
- 8.6. Guerra y Guerra, AV; Guerra Bone, SL; Esquivel, F. 2002. Diagnóstico y recomendaciones para el manejo de la estación experimental del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA- ubicado en el aldea Monterrico, Taxisco, Santa Rosa. Seminario T.A. Guatemala, USAC. 60 p.
- 8.7. Günther, A. 1867. On the fishes of the states of Central America, founded upon specimens collected in fresh and marine waters of various parts of that country by Messrs (en línea). London. Consultado 30 ago. 2012. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/pdf/libros/PaguadulceD.pdf>

- 8.8. López López, AL. 2000. Determinación de la calidad de agua de los tanques de distribución para uso industrial que suministra la Empresa Municipal de Agua en la ciudad de Guatemala. Tesis Inga. Qca. Guatemala, USAC.55 p.
- 8.9. Lvovitch, M. 1967. Water resources of the world and their future: general assembly of Bern. International Publication of the Association Hidrological Science 2: 317-322.
- 8.10. Metcalf & Eddy Inc, MX. 1995. Ingeniería de aguas residuales. 3 ed. México, McGraw- Hill. s.p.
- 8.11. Ortiz Montano, OJ. 2007. Análisis geográfico sobre la calidad del agua en los pozos que utilizan biofiltros al Sur de Ahuachapan, Departamento de Ahuachapan, El Salvador. México, Unión Mundial para la Naturaleza. s.p.
- 8.12. Prat, A; Tort-Martorell, X; Grima, P; Pozueta, L. 1997. Métodos estadísticos: control y mejora de la calidad. 2 ed.. s.l., Ediciones UPC. s.p.
- 8.13. Prat, N; Munné, A; Rieradevall, M; Solà, C; Bonada, N. 1999. La qualitatecològica del Llobregat, el Besòs, el Foix i la Tordera. s.n.t. s.p.
- 8.14. Rivas, G. 2009. Informe final del Ejercicio Profesional Supervisado, realizado en la Estación Experimental del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura CEMA, Monterrico, Taxisco, Santa Rosa. Guatemala, USAC. 48 p.
- 8.15. UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, US); INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología y Meteorología, GT). 1992. Balance hídrico superficial de la República de Guatemala. Guatemala, INSIVUMEH. t. 1, s.p.

- 8.16. Vilaseca Vallvé, MM. 2006. Uso sostenible del agua en Europa (en línea). España, Universitat Politècnica de Catalunya. Consultado 01 mar. 2011. Disponible en http://portalsostenibilidad.upc.edu/detall_01.php?numapartat=8&id=18
- 8.17. Wheaton, FW. 1982. Acuicultura: diseño y construcción de sistemas. México, AGT Editor. 704 p.

8. ANEXO

BOLETA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Boleta No. _____

Fecha _____

No.	Bomba	°C	ppt	OD	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	NH ₄ ⁺	pH

Observaciones:

Anexo No. 1. Boleta de recolección de parámetros físico-químicos
(Trabajo de campo, 2011).

Mes	Nombre Fuente	Temperatura oC	Salinidad ppt	Oxígeno mg/L	pH	Nitritos NO2 mg/L	Nitratos NO3 mg/L	Fosfatos PO4 mg/L	Amonio NH4 mg/L
Marzo	Pozo agua dulce I	32,30	2	3,78	6,5	0,09	5,9	0,83	0,05
Abril	Pozo agua dulce I	33,10	1	4,27	7	0,36	7,19	1,29	0,11
Mayo	Pozo agua dulce I	32,30	4	4,47	7	0,39	2,2	0,31	0,09
Junio	Pozo agua dulce I	27,60	2	3,83	6,5	0,39	1,16	0,37	0,09
Julio	Pozo agua dulce I	31,80	3	2,7	6,5	0,1	3,9	0,46	0,48
Agosto	Pozo agua dulce I	31,60	1	1,53	7	0,1	0,95	6,6	1
Septiembre	Pozo agua dulce I	30,47	1	3,87	7	0,42	1,2	0,45	0,58
	Media	31,26	1,74	3,32	6,78	0,21	2,417	0,77	0,20
	Desviación Estándar	1,82	1,15	1,03	0,27	0,16	2,514	2,29	0,36
	Promedio	31,31	2	3,49	6,79	0,26	3,214	1,47	0,34
	* Dif significativa comparada a la concentración máxima o mínima permisible								
	** Dif Altamente significativa comparada a la concentración máxima o mínima permisible								

Anexo No. 2. Resultados de parámetros fisicoquímicos de pozo de agua dulce I durante investigación (Trabajo de campo, 2011).

Mes	Nombre Fuente	Temperatura oC	Salinidad ppt	Oxígeno mg/L	pH	Nitritos NO2 mg/L	Nitratos NO3 mg/L	Fosfatos PO4 mg/L	Amonio NH4 mg/L
Marzo	Pozo agua dulce II	32	1	2,5	7	0,07	9,6	1,03	0,03
Abril	Pozo agua dulce II	28,8	1	2,64	7,5	0,16	11,6	0,87	0,03
Mayo	Pozo agua dulce II	28,5	4	2,95	6,5	0,24	0,9	0,43	0,09
Junio	Pozo agua dulce II	28,4	1	3,58	7	0,62	0,86	0,79	0,06
Julio	Pozo agua dulce II	28,3	1,5	3,8	7	0,12	12,7	0,6	0,04
Agosto	Pozo agua dulce II	28,2	1	2,54	6,5	0,22	0,48	1	0,9
Septiembre	Pozo agua dulce II	31,9	1	2,98	7	0,34	1,24	0,88	0,04
	media	29,40097271	1,291708342	2,962961984	6,921224	0,204503405	2,523428334	0,770164873	0,068391137
	Desviacion Estándar	1,723230632	1,118033989	0,511612763	0,345033	0,184093661	5,652704368	0,216487105	0,322593656
	Promedio	29,44285714	1,5	2,998571429	6,928571	0,252857143	5,34	0,8	0,17
	* Dif significativa comparada a la concentración máxima o mínima permisible								
	** Dif Altamente significativa comparada a la concentración máxima o mínima permisible								

Anexo No. 3. Resultados de parámetros fisicoquímicos en pozo de agua dulce II durante investigación (Trabajo de campo, 2011).

Mes	Nombre Fuente	Temperatura oC	Salinidad ppt	Oxígeno mg/L	pH	Nitritos NO2 mg/L	Nitratos NO3 mg/L	Fosfatos PO4 mg/L	Amonio NH4 mg/L
Marzo	Pozo agua dulce III	30,8	1,8	2,96	7,5	0,48	10,5	1,15	0,06
Abril	Pozo agua dulce III	31,3	1	1,7	6,5	0,35	13,2	1,11	0,04
Mayo	Pozo agua dulce III	29,8	4	2,27	7	0,49	0,8	0,38	0,13
Junio	Pozo agua dulce III	29,6	1	4,05	6,5	0,56	0,77	0,93	0,11
Julio	Pozo agua dulce III	30,1	3	2,63	7	0,28	13,9	0,19	2,74
Agosto	Pozo agua dulce III	30,6	1	3,28	7	0,25	0,78	12,2	1,6
Septiembre	Pozo agua dulce III	30,78	1	4,56	6,5	0,28	0,89	1,02	0,33
	media	30,42045128	1,551087329	2,922244595	6,848336	0,367397027	2,609450424	1,009253207	0,242735395
	Desviacion Estandar	0,610978918	1,213417056	0,995571145	0,377964	0,123943151	6,351655577	4,326117802	1,050791085
	Promedio	30,42571429	1,828571429	3,064285714	6,857143	0,384285714	5,834285714	2,425714286	0,715714286
	* Dif significativa comparada a la concentración máxima o mínima permisible								
	** Dif Altamente significativa comparada a la concentración maxima o mínima permisible								

Anexo No. 4. Resultados de parámetros fisicoquímicos en pozo de agua dulce III durante investigación (Trabajo de campo, 2011).

Mes	Nombre Fuente	Temperatura oC	Salinidad ppt	Oxígeno mg/L	pH	Nitritos NO2 mg/L	Nitratos NO3 mg/L	Fosfatos PO4 mg/L	Amonio NH4 mg/L
Marzo	Pozo agua dulce IV	31,6	1	3,15	7	0,36	10,7	0,65	0,03
Abril	Pozo agua dulce IV	30,9	1	1,72	6,5	0,37	21,1	0,41	0,06
Mayo	Pozo agua dulce IV	29	3	3,14	7	0,35	0,73	0,52	0,06
Junio	Pozo agua dulce IV	30,52	2	3,68	7	0,67	0,97	0,83	0,05
Julio	Pozo agua dulce IV	31	3	1,13	6,5	0,61	14	0,91	0,04
Agosto	Pozo agua dulce IV	30	1	4,7	7	0,18	0,67	4,45	0,84
Septiembre	Pozo agua dulce IV	33,01	1	4,78	7	0,44	1,44	0,96	0,12
	media	30,8395534	1,511209391	2,866270923	6,853342	0,395327878	2,994555098	0,891383251	0,080429677
	Desviacion Estandar	1,258708711	0,951189731	1,381832806	0,243975	0,167018676	8,247253511	1,426799616	0,296222246
	Promedio	30,86142857	1,714285714	3,185714286	6,857143	0,425714286	7,087142857	1,247142857	0,171428571
	* Dif significativa comparada a la concentración máxima o mínima permisible								
	** Dif Altamente significativa comparada a la concentración maxima o mínima permisible								

Anexo No. 5. Resultados de parámetros fisicoquímicos en pozo de agua dulce IV durante investigación (Trabajo de campo, 2011).

Mes	Nombre Fuente	Temperatura oC	Salinidad ppt	Oxígeno mg/L	pH	Nitritos NO2 mg/L	Nitratos NO3 mg/L	Fosfatos PO4 mg/L	Amonio NH4 mg/L
Marzo	Pozo agua dulce V	32,5	1,2	3,24	7	0,06	8,7	1,01	0,03
Abril	Pozo agua dulce V	31,2	1	2,52	6,5	0,42	12,8	0,95	0,03
Mayo	Pozo agua dulce V	30,3	3	2,23	7	0,34	0,4	1,98	0,08
Junio	Pozo agua dulce V	31,02	1,5	2,78	7	0,49	0,76	0,94	0,06
Julio	Pozo agua dulce V	30,2	2	1,64	7	0,4	0,9	0,84	0,22
Agosto	Pozo agua dulce V	29,4	1	2,02	7	0,29	0,11	4,26	8,5
Septiembre	Pozo agua dulce V	32,68	1	5,12	7	0,65	1,12	0,77	0,06
	media	31,02271578	1,4048565	2,624875002	6,926283	0,316274254	1,207995026	1,255624155	0,125292544
	Desviacion Estandar	1,210367909	0,745462464	1,149879911	0,188982	0,182156395	5,07530107	1,269105422	3,183125897
	Promedio	31,04285714	1,528571429	2,792857143	6,928571	0,378571429	3,541428571	1,535714286	1,282857143
	* Dif significativa comparada a la concentración máxima o mínima permisible								
	** Dif Altamente significativa comparada a la concentración máxima o mínima permisible								

Anexo No. 6. Resultados de parámetros fisicoquímicos en pozo de agua dulce V durante investigación (Trabajo de campo, 2011).

Mes	Nombre Fuente	Temperatura oC	Salinidad ppt	Oxígeno mg/L	pH	Nitritos NO2 mg/L	Nitratos NO3 mg/L	Fosfatos PO4 mg/L	Amonio NH4 mg/L
Marzo	Pozo agua salada	31,9	23,5	3,96	7	0,07	1,8	0,61	0,12
Abril	Pozo agua salada	32,4	21	4,49	7	0,29	8,5	1,67	0,19
Mayo	Pozo agua salada	30,7	22	2,54	6,5	0,66	0,7	0,36	0,04
Junio	Pozo agua salada	31,06	23	4,08	6,5	0,58	0,65	0,42	0,05
Julio	Pozo agua salada	32	25	2,86	7	0,11	0,9	0,59	0,21
Agosto	Pozo agua salada	30,6	24	1,71	7	0,17	0,3	1,6	3,9
Septiembre	Pozo agua salada	31,5	23,8	3,45	7	0,36	12,7	0,22	2,7
	media	31,44520262	23,15235249	3,154606799	6,853342	0,244553089	1,573398081	0,61154376	0,268588554
	Desviacion Estandar	0,6886924	1,332201901	0,98165555	0,243975	0,229056034	4,921635907	0,598482207	1,590199149
	Promedio	31,45166667	23,18571429	3,298571429	6,857143	0,32	3,65	0,781428571	1,03
	* Dif significativa comparada a la concentración máxima o mínima permisible								
	** Dif Altamente significativa comparada a la concentración maxima o mínima permisible								

Anexo No. 7. Resultados de parámetros fisicoquímicos en pozo de agua salada durante investigación (Trabajo de campo, 2011).