



Doctorado en Ciencias Ambientales

**Estudio de la emisión y captura de dióxido de carbono
(CO₂) y metano (CH₄) y frecuencia de micronúcleos en
Ariopsis guatemalensis en la laguna de Coyuca,
Guerrero, México**

PRESENTA:

José Luis Cortés García

Para obtener el grado de:

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Director de Tesis

Dr. Manuel Mendoza Mojica

Co-Director

Dr. José Luis Rosas Acevedo

Asesores

Dra. María Amparo Martínez Arroyo

Dra. Yolanda Carbajal López

Dr. Justiniano González González

Acapulco, Gro., octubre de 2016.

COMITÉ TUTORAL:

**DR. MANUEL MENDOZA MOJICA
DIRECTOR DE TESIS**

**DR. JOSÉ LUIS ROSAS ACEVEDO
CO-DIRECTOR**

**DRA. YOLANDA CARBAJAL LÓPEZ
ASESORA**

**DRA. AMPARO MARTÍNEZ ARROYO
ASESORA**

**DR. JUSTINIANO GONZÁLEZ GONZÁLEZ
ASESOR**



UAGro UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

Coordinación de Administración Escolar - Zona Sur

OFICIO No. 7663/13/09/2016/C.A.E.Z.S.

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE EXAMEN
DE GRADO DE DOCTOR.**

ACAPULCO, GRO., A 13 DE SEPTIEMBRE DEL 2016.

C. DR. JOSE LUIS ROSAS ACEVEDO
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE CIENCIAS DE DESARROLLO REGIONAL
DE LA U.A.G.
P R E S E N T E.

CON BASE A LO ESTABLECIDO EN EL ARTÍCULO 81 INCISO a) DEL REGLAMENTO GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN VIGENTE, SE **A U T O R I Z A** LA APLICACIÓN DEL EXAMEN PROFESIONAL, MEDIANTE LA MODALIDAD DE TESIS TITULADA:

"ESTUDIOS DE LA EMISIÓN Y CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) Y METANO (CH₄) Y FRECUENCIA DE MICRÓNÚCLEOS EN ARIOPSIS GUATEMALENSIS EN LA LAGUNA DE COYUCA, GUERRERO, MEXICO "

AL (LA) C. JOSÉ LUIS CORTÉS GARCÍA

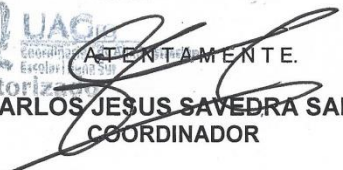
PARA OBTENER EL GRADO DE: DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

HABIENDO CURSADO SUS ESTUDIOS EN EL PERIODO: 2010 - 2014

EN VIRTUD DE HABER CUMPLIDO CON LOS REQUISITOS DE REVISIÓN EXIGIDOS POR LA LEY EN ESTOS CASOS.

AGRADECERÉ A USTED, INFORMAR A ESTA COORDINACIÓN EL RESULTADO DEL EXAMEN, A MÁS TARDAR 15 DÍAS HÁBILES DESPUÉS DE EFECTUARLO.

SIN OTRO PARTICULAR, RECIBA UN CORDIAL SALUDO GUERRERO


A T E N T A M E N T E.
Autorización
M.A. CARLOS JESUS SAVEDRA SANCHEZ
COORDINADOR

C.c.p. Unidad Académica
C.c.p. Interesado(a).
C.c.p. Archivo.
CJSS/mrar.

Administración 2010-2017

Niños Héroes #133

Col. Progreso, CP. 39350

Tel: (744) 486 5943, (744) 486 0919

Correo electrónico: admonescolar_zs@uagro.mx

Acapulco de Juárez, Guerrero, México

www.uagro.mx

Acapulco Gro., A 13 de septiembre del 2016

M.A. CARLOS JESÚS SAAVEDRA SÁNCHEZ
COORDINADOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DE LA ZONA SUR DE LA UAGro.
PRESENTE.

Quien suscribe, JOSÉ LUIS CORTÉS GARCÍA, estudiante del Doctorado en Ciencias Ambientales de la UCDR de la Universidad Autónoma de Guerrero, con número de matrícula: 10218968 Generación 2010-2014, solicito a usted me AUTORIZE presentar el EXAMEN DE GRADO OPCIÓN: TESIS INDIVIDUAL de acuerdo al artículo 81 inciso a) del Reglamento General de Estudios de Posgrado e Investigación de la UAGro. titulada "Estudio de la emisión y captura de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) y frecuencia de micronúcleos en *Ariopsis guatemalensis* en la laguna de Coyuca, Guerrero, México" y poder obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES.

Sin más por el momento, le reitero mi más atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE

QBP. JOSE LUIS CORTÉS GARCÍA

Autorizo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO
UAGro
Coordinación de Administración
Escolar Zona Sur
Autorizado

M.A. CARLOS JESÚS SAAVEDRA SÁNCHEZ
COORDINADOR DE ADMINISTRACION
ESCOLAR ZONA SUR DE LA UAGro



UAGro UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional

Acapulco, Gro., a 08 de Septiembre de 2016.

**M.C. CARLOS JESUS SAAVEDRA SANCHEZ
COORDINADOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DE LA ZONA SUR UAGro.
P R E S E N T E.**

Por medio del presente, le comunico que el C. JOSÉ LUIS CORTÉS GARCÍA, presentará su tesis titulada: "ESTUDIO DE LA EMISIÓN Y CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) Y METANO (CH₄) Y FRECUENCIAS DE MICRÓNÚCLEOS EN *Ariopsis guatemalensis* EN LA LAGUNA DE COYUCA, GUERRERO, MEXICO". El cual a juicio de los revisores asignados por esta dirección, ha sido aprobado para ser sustentado ante un jurado calificador para la obtención del grado de Doctorado en Ciencias Ambientales.

Esperando que la coordinación a su cargo autorice la presentación del examen, le reitero mi más atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE

**DR. JOSÉ LUIS ROSAS ACEVEDO
DIRECTOR UCDR**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO



Pino s/n
Col. El Roble, C.P 39640
Tel/Fax. 744 4876624, 4876694
Correo electrónico: : unidad_cdr@uagro.mx
Acapulco de Juárez, Guerrero, México





UAGro UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional

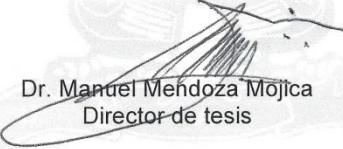
Acapulco, Gro., a 3 de septiembre de 2016.

Dr. José Luis Rosas Acevedo
Director de la Unidad de Ciencias
de Desarrollo Regional.
Universidad Autónoma de Guerrero
P r e s e n t e

Por medio de la presente, le comunicamos que después de haber leído, analizado y revisado el trabajo de tesis titulado "Estudio de la emisión y captura de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) y frecuencia de micronúcleos en *Ariopsis guatemalensis* en la laguna de Coyuca, Guerrero, México", del alumno JOSÉ LUIS CORTÉS GARCÍA, lo hemos aprobado para su impresión. El trabajo está listo para ser sustentado ante el jurado calificador para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Ambientales.


Sin otro particular, le reiteramos nuestro respeto y consideración.

Atentamente


Dr. Manuel Mendoza Mojica
Director de tesis

ASESORES


Dra. María Amparo Martínez Arroyo


Dra. Yolanda Carbajal López


Dr. José Luis Rosas Acevedo


Dr. Justiniano González González

Pino s/n
Col. El Roble, C.P 39840
Tel/Fax. 744 4878824, 4878884
Correo electrónico: unidad_cdr@uagro.mx
Acapulco de Juárez, Guerrero, México



AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma de Guerrero**, por brindarme la oportunidad de seguir preparándome en sus aulas y en sus laboratorios en esta etapa tan importante en mi vida. En particular a la Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional (UCDR), donde se me brindaron todas las facilidades y oportunidades para mi formación académica.

Mi reconocimiento al **Laboratorio de Aerosoles Atmosféricos del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM** por darme la oportunidad de realizar la parte experimental sobre los gases de este trabajo. En especial mi gratitud y agradecimiento a la **Dra. Telma Castro Romero** y la **Dra. Rocío García Martínez**, por su tiempo y esfuerzo dedicado a la revisión de los análisis químicos para la elaboración de esta tesis, sin lo cual este compromiso no hubiera sido posible cumplirlo.

A mi director de tesis **Dr. Manuel Mendoza Mojica**, por su valioso apoyo y por creer en mí, por su valioso tiempo, observaciones y sugerencias para desarrollar esta investigación, le estoy infinitamente agradecido.

Al **grupo de Genotoxicología Ambiental** en especial a la **Dra. Sandra Luz Gómez Arroyo**, por su valiosa orientación y ayuda para la realización de éste trabajo. A la **Dra. Yolanda Carbajal López**, integrante de mi Comité Tutorial, por sus valiosas aportaciones y sugerencias para la realización de esta investigación y a mi co-director de tesis **Dr. José Luis Rosas Acevedo** por las valiosas sugerencias realizadas y por el invaluable apoyo recibido.

A la **Dra. Ma. Amparo Martínez Arroyo**, Directora General del INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático), integrante de mi Comité Tutorial, por su valioso tiempo para escucharme y proponer importantes sugerencias para la realización de este estudio, así como brindarme la oportunidad de utilizar el Laboratorio de Aerosoles Atmosféricos para realizar la parte experimental de la investigación, contando siempre con el apoyo del **MC. José Manuel Hernández Solís** para el manejo del equipo de cromatografía de gases y a la **Dra. Ma. De la Luz Espinoza Fuentes** por el gran apoyo que me ha brindado.

Al **Dr. Justiniano González González**, integrante de mi Comité Tutorial, por las valiosas aportaciones y facilidades otorgadas en la realización de esta investigación. En particular al **Ing. Enrique Jesús Flores Munguía** jefe del Laboratorio de Aguas de la UCDR por su apoyo en la recolección y análisis físico-químicos de las muestras de agua.

Al **Dr. Sergio García Ibañez** por sus valiosas aportaciones realizadas en el análisis estadístico de los datos y al **Dr. Maximino Reyes Umaña** por su valioso apoyo para la realización de los mapas del sitio de estudio. Al **MC. José Antonio Rendón Dircio** por la identificación de la especie *Ariopsis guatemalensis*.

A los **profesores de la UCDR** por su paciencia, conocimientos y tiempo que invirtieron en mi formación, **mil gracias por formar parte de este proyecto**.

	PÁG.
ÍNDICE DE CONTENIDO	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
Resumen	1
1. Introducción	3
2. Antecedentes	
2.1 La contaminación del agua	8
2.2 Historia ambiental de la laguna de Coyuca.....	10
2.3 CO ₂ y CH ₄ causas del calentamiento global.....	12
2.4 Bioindicadores	15
2.5 Análisis de micronúcleos (MN) en peces	17
3. Planteamiento del problema y justificación	21
4. Objetivos	23
5. Hipótesis	24
6. Metodología	
6.1 Área de estudio	25
6.2 Otras características	
6.2.1 Población	28
6.2.2 Hidrología	30
6.2.3 Tipos de climas	31
6.3 Diagrama de trabajo para micronucleos (MN)	32
6.4 Métodos de muestreo	33
6.4.1 Toma de muestras para recuento de micronucleos (MN).....	33
6.4.2 Toma de muestras para mediciones de gases de intercambio de agua de superficie	34
6.4.3 Curvas de calibración de CO ₂ y CH ₄	35
6.4.4 Mediciones de gases CO ₂ y CH ₄	36
6.4.5 Toma de muestras para mediciones de parámetros fisicoquímicos	37

7. Resultados	
7.1 Parámetros fisicoquímicos de la laguna de Coyuca	38
7.1.1 Temperatura del agua	38
7.1.2 El pH	40
7.1.3 Conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$).....	41
7.1.4 Sólidos Disueltos Totales (TDS en mg/L).....	42
7.1.5 Salinidad	43
7.1.6 Oxígeno disuelto	44
7.2 Emisión y captura de CH_4 por cromatografía de gases.....	45
7.3 Emisión y captura de CO_2 por cromatografía de gases	49
7.4 Flujos de CH_4 y CO_2 en $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$	53
7.5 Frecuencia de MN y anomalías nucleares	57
8. Discusión	
8.1 Parámetros fisicoquímicos de la laguna de Coyuca	62
8.2 Emisión y captura de CO_2 y CH_4	63
8.3 MN y Anomalías Nucleares.....	66
8.4 Análisis estadístico y Resultados del Análisis de Componentes Principales (ACP)	67
9. Conclusiones	73
10. Recomendaciones y sugerencias	75
11. Referencias	76
12. Anexos	87

INDICE DE TABLAS	PÁG.
Tabla 1. Ubicación de los sitios de muestreo	26
Tabla 2. Poblaciones rivereñas de la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero	29
Tabla 3. Concentración de CH ₄ y área promedio	35
Tabla 4. Concentración de CO ₂ y área promedio. Fuente CCA/UNAM.....	36
Tabla 5. Temperatura del agua de la laguna de Coyuca	39
Tabla 6. pH del agua de la laguna de Coyuca	40
Tabla 7. Conductividad eléctrica del agua de la laguna de Coyuca.....	41
Tabla 8. Sólidos Totales Disueltos en mg/L en la laguna de Coyuca	42
Tabla 9. Salinidad de la laguna de Coyuca.....	43
Tabla 10. Oxígeno Disuelto de la laguna de Coyuca.....	44
Tabla 11. Emisión de CH ₄ en mg/L en la laguna de Coyuca	46
Tabla 12. Emisión de CO ₂ en mg/L en 5 sitios de estudio de la laguna de Coyuca	50
Tabla 13. Flujos de CH ₄ en mg/m ² /h de la laguna de Coyuca.....	54
Tabla 14. Flujos de CO ₂ en mg/m ² /h de la laguna de Coyuca.....	56
Tabla 15. Anormalidades celulares en eritrocitos de <i>Ariopsis</i> <i>guatemalensis</i> de la laguna de Coyuca.....	60
Tabla 16. Porcentaje de la frecuencia de MN y otras anormalidades celulares de <i>Ariopsis guatemalensis</i> en la laguna de Coyuca.....	60
Tabla 17. Estadísticos descriptivos para 7 variables.....	68
Tabla 18. Matriz de correlaciones para 7 variables.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS	PÁG.
Figura 1. Temperatura media estimada al 2100 Tomado de: IPCC WGII AR5 Summary for Policymakers WGII AR5 Phase I Report Launch 1 31 March 2014.....	13
Figura 2. Formación de células binucleadas con micronúcleo. (Tomado de Palma, 2005).....	17
Figura 3. Características de las células portadoras de micronúcleos y en apoptosis	18
Figura 4. Eritrocito micronucleado (Tomado de Palma, 2005)	19
Figura 5. Sitios de muestreo en la laguna de Coyuca, Guerrero.	25
Figura 6. Localidades cercanas a la laguna de Coyuca	29
Figura 7. Ríos y arroyos de la laguna de Coyuca	30
Figura 8. Tipos de climas de la laguna de Coyuca	31
Figura 9. Curva de calibración del metano (CH ₄).....	35
Figura 10. Curva de calibración del CO ₂	36
Figura 11. Temperatura del agua en °C de la laguna de Coyuca de septiembre de 2012 a agosto de 2013	39
Figura 12. pH del agua de la laguna de Coyuca de septiembre de 2012 a agosto de 2013. Con un pH promedio de 8.4.....	41
Figura 13. Conductividad eléctrica del agua de la laguna de Coyuca en µs/cm de sep./2012 a ago./2013.....	42
Figura 14. Sólidos Totales Disueltos en mg/L en la laguna de Coyuca de sep./2012 a ago./2013.....	43
Figura 15. Salinidad de la laguna de Coyuca de sep./2012 a ago./2013.....	44
Figura 16. Variación del oxígeno disuelto de la laguna de Coyuca.....	45

Figura 17. Flujos de CH ₄ en mg/L de septiembre de 2012 a agosto de 2013.....	47
Figura 18. Promedio mensual del flujo de CH ₄ de septiembre de 2012-agosto de 2013	48
Figura 19. Promedio mensual del flujo de CH ₄ de septiembre de 2012 a agosto de 2013 por mes de estudio de la laguna de Coyuca.....	49
Figura 20. Flujos de CO ₂ de septiembre de 2012 al mes de agosto de 2013 en 5 sitios de la laguna de Coyuca.....	50
Figura 21. Flujos de CO ₂ de septiembre de 2012 al mes de agosto de 2013 en 5 sitios de la laguna de Coyuca	51
Figura 22. Flujos de CO ₂ de septiembre de 2012 al mes de agosto de 2013 en 5 sitios de la laguna de Coyuca	52
Figura 23. Flujos de CO ₂ de septiembre de 2012 al mes de agosto de 2013 en 5 sitios de la laguna de Coyuca.....	53
Figura 24. Flujos de CH ₄ en mg/m ² /h de la laguna de Coyuca.....	54
Figura 25. Flujos de CH ₄ en mg/m ² /h por sitio de estudio	55
Figura 26. Flujos de CO ₂ en mg/m ² /h por mes de estudio.....	56
Figura 27. Flujos de CO ₂ en mg/m ² /h por sitio de estudio.....	57
Figura 28. Células con micronúcleos, células con cariólisis, células binucleadas, célula con puente citoplasmático.....	58
Figura 29. Células con puente nucleoplásmico, células binucleadas, deformidad del núcleo, células con cariólisis y célula control.....	58
Figura 30. Células del grupo control de <i>Ariopsis guatemalensis</i>	61
Figura 31. Los componentes 1: temp., salinidad., cond. eléc., STD y pH. Componente 2: CO ₂ y CH ₄	72

RESUMEN

La laguna de Coyuca en el estado de Guerrero, México, es un ecosistema tropical de gran importancia económica y ecológica para la región, que en los últimos años ha mostrado problemas ambientales como la disminución de la pesca, la eutrofización, la invasión por el lirio acuático y la disminución de la biodiversidad; así, se realizaron mediciones de las variables fisicoquímicas del agua de la laguna en cinco sitios representativos de septiembre de 2012 a agosto de 2013, en Luces en el Mar, Pie de la Cuesta, El Embarcadero, el paraíso de los manglares y la desembocadura del río Coyuca. Se encontraron valores promedio anual para la temperatura de 29.3°C, el pH 8.4, salinidad 1.8%, sólidos totales disueltos 1740 mg/L y oxígeno disuelto 7.18 mg/L; se encontró un pH en el sitio 05 MAN de 9.9 muy cercano a los límites máximos de acuerdo a los Criterios Ecológicos del Calidad del Agua, lo cual coloca a este ecosistema en una situación muy vulnerable para la vida acuática.

Se cuantificó la emisión de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) en la laguna por cromatografía de gases en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y se encontró que la laguna de Coyuca se comporta como emisor moderado de metano y de dióxido de carbono con un promedio anual de 32.4 mg/L y de 48.4 mg/L respectivamente.

Así mismo se realizó el recuento de micronúcleos (MN) en sangre periférica de (*Ariopsis guatemalensis*), peces nativos de la laguna, el estudio muestra una baja incidencia de MN, siendo la cariólisis y la cariorrexis a las anomalías nucleares que más se manifestaron en ellos; este ensayo es una prueba rápida la cual indica si agentes genotóxicos están llegando a la laguna y contaminado el ecosistema.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) mostró que las variables fisicoquímicas se agrupan en un primer componente denominado “temperatura y su influencia en los Sólidos Totales Disueltos” y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) se agrupan en un segundo componente denominado “Gases de Efecto Invernadero y acidificación”.

Palabras Clave: Metano, dióxido de carbono, micronúcleos, contaminación.

ABSTRAC

Coyuca Lagoon in the state of Guerrero, Mexico, is a tropical ecosystem of great economic and ecological importance for the región, in recent years has shown environmental problems such as decreased fishing, eutrophication, invasion by water hyacinth and decreasing biodiversity; Thus, measurements of the physical and chemical variables of the water of the lagoon were conducted in five representative sites from September 2012 to August 2013, en Luces en el Mar, Pie de la Cuesta, El Embarcadero, Paraiso de los Manglares and Coyuca river. Average annual values for temperature 29.3 ° C, pH 8.4, 1.8% salinity, total dissolved solids 1740 mg/L and 7.18 mg dissolved oxygen/L were found; pH was found at the site 05 MAN 9.9 very close to the maximum limits according to the Ecological Water Quality Criteria, which puts this ecosystem in a very vulnerable situation to aquatic life.

the emission of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) was quantified in the lagoon by gas chromatography at the Center for Atmospheric Sciences of the UNAM and found that the Coyuca Lagoon behaves as moderate emitter of methane and carbon dioxide with an annual average of 32.4 mg/L and 48.4 mg/L respectively.

Also count micronuclei (MN) was performed on peripheral blood (*Ariopsis guatemalensis*), native fish of the lagoon, the study shows a low incidence of MN, being the karyolysis and cariorrhexis nuclear abnormalities more demonstrated in they; This test is a rapid test which indicates whether genotoxic agents are coming to the lagoon and contaminated the ecosystem.

The Principal Component Analysis (PCA) showed that the physico-chemical variables are grouped in a first called component "temperature and its influence on Total Dissolved Solids" and Greenhouse Gas (GHG) are grouped in a second component called "Gas Greenhouse effect and acidification".

Keywords: Methane, carbon dioxide, micronuclei, pollution.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas costeros acuáticos de México poseen una variada riqueza bioecológica, en ellos se sustenta la vida de especies acuáticas, terrestres y de gran variedad de aves. Al mismo tiempo constituyen una extensa área con grandes posibilidades de aprovechamiento sustentable derivadas de la riqueza biótica de sus aguas (Castañeda y Contreras, 2003).

El conocimiento ecológico de una región es el elemento fundamental para la aplicación viable de técnicas y políticas públicas de manejo de los hábitats y recursos naturales críticos que busquen incidir en el horizonte del desarrollo sustentable de dicha región geográfica (Villalobos *et al.*, 1999). Aunque en las últimas décadas, el modo de vida de las sociedades modernas, las formas de producción de alimentos y el crecimiento de la población están ejerciendo una fuerte presión sobre los cuerpos receptores de aguas, contaminando gradual y paulatinamente los ríos y lagunas; así, los ecosistemas costeros son de los más productivos pero también son los más amenazados del mundo (Lara *et al.*, 2008).

El estado de Guerrero cuenta con un cordón litoral de 484.94 km y 22 700 ha de superficies estuarinas. Con más de 10 lagunas costeras, entre las que sobre salen las de Mitla, Apozahualco, Coyuca, Tres Palos, Potosí, Nuxco y Chautengo. No obstante en los sistemas acuáticos guerrerenses es necesaria una política dirigida al aprovechamiento sustentable de sus recursos para beneficio social ya que comparte con Oaxaca y Chiapas las poblaciones de pescadores más pobres de México (Castañeda y Contreras, 2003).

La contaminación del agua es un problema que afecta a todos los ecosistemas y hábitats vivos y deberá estudiarse de manera sistemática para que el desarrollo de la actividad y bienestar humanos sean sostenibles a largo plazo, por lo que es necesario realizar estudios de contaminantes con la finalidad de construir un perfil del desempeño ambiental a nivel nacional, regional, estatal y local (Gordillo *et al.*, 2010).

Dado que el agua es un recurso importante para el desarrollo y sostenimiento de la vida de plantas, animales y el hombre mismo, debemos considerar que el monitoreo de

la calidad de agua en los ecosistemas acuáticos es de suma importancia desde el punto de vista ecotoxicológico (Rodríguez *et al.*, 2014).

De acuerdo a Biodiversidad Mexicana (2010) los humedales costeros, en particular los manglares, brindan una gran variedad de servicios ambientales: son zonas de alimentación, refugio y crecimiento de crustáceos y alevines, por lo que sostienen gran parte de la producción pesquera, poseen un alto valor estético y recreativo, actúan como sistemas naturales de control de inundaciones y como barreras contra huracanes e intrusión salina, controlan la erosión y protegen las costas, mejoran la calidad del agua al funcionar como filtro biológico y sirven de refugio de flora y fauna silvestre, y a pesar de la importancia de los manglares, su extensión a nivel global se ha reducido notablemente en los últimos años.

Un ecosistema puede ser considerado como el conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico; mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes (Biodiversidad mexicana, 2010).

Las lagunas costeras se caracterizan por la diversidad de hábitats que presentan, los cuales son usados por los peces para cumplir con al menos una parte de su ciclo de vida adquiriendo para ello adaptaciones morfológicas, fisiológicas y de comportamiento. La mayor cantidad de peces costeros se produce cuando hay espacio disponible y accesible en el hábitat lagunar (Yañez *et al.*, 1994).

En la laguna de Coyuca ha existido gran biodiversidad de especies animales y vegetales, pero se ha observado que al paso de los años comienza a dar muestras del deterioro ambiental, la disminución de la cantidad y el tamaño de peces que se capturan, la abundante presencia de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en algunas zonas, particularmente en el canal meándrico.

De acuerdo con Martínez *et al.*, (2011) la contaminación es uno de los factores que provoca vulnerabilidad de la mayoría de los estuarios y los ecosistemas de manglar.

Un estudio realizado por Villalobos *et al.* (1999) en la laguna de Términos en el estado de Campeche, encontraron que las diferentes problemáticas de los efectos de las actividades antrópicas inciden en este importante escenario ambiental, esas mismas se

reproducen en la laguna de Coyuca, tales como la pesca artesanal, la navegación interna y externa a la Laguna, la agricultura y ganadería en tierras bajas incluyendo humedales, los asentamientos humanos (regulares e irregulares), la tala ilegal del manglar y el desarrollo turístico.

Para estudiar el comportamiento y la vulnerabilidad de este importante ecosistema de la costa grande en el estado de Guerrero se manejaron por un lado peces que pudieran servir como indicadores de contaminación ambiental utilizando la prueba de micronúcleos (MN) y determinando la emisión y/o captura de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) que la laguna emite de manera natural a lo largo de un período de doce meses.

De acuerdo al protocolo de Kioto (ONU,1997) el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6) son gases de efecto invernadero (GEI) que causan el calentamiento global del planeta. El estudio sobre la emisión y captura de CO_2 y CH_4 en diversos puntos de la laguna de Coyuca, mostrará las características de los sitios donde de manera natural hay mayor emisión y mayor absorción de dichos gases en estudio.

El incremento de la concentración en la atmósfera de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) de origen antropogénico ha preocupado en las últimas décadas a la comunidad científica y a los gobiernos por las enormes transformaciones en los ecosistemas que ocasionará el cambio climático y que afectará sin duda la vida misma del hombre sobre la tierra.

Aproximadamente el 60% de la emisión global de metano se debe a actividades antropogénicas como la quema de combustible fósil, la fermentación digestiva del ganado, la descomposición del estiércol, los cultivos de arroz y los vertederos. Las zonas húmedas son la principal fuente de emisión natural de metano, casi el 40% de la emisión total. Esto es así porque en los suelos inundados existen unas condiciones anaerobias (sin oxígeno) que favorecen la proliferación de las bacterias responsables de la descomposición de la materia orgánica, en cuyo proceso se libera metano (Ortiz y Álvarez, 2012).

Así, con la medición de las emisiones de CO₂ y CH₄ de este ecosistema lagunar a lo largo de un año obtuvimos datos que nos permiten poder comparar el comportamiento de este cuerpo de agua en los periodos de lluvias y de secas, además de la comparación con otros ecosistemas similares.

De acuerdo al IPCC (2002) el carbono inorgánico en forma de CO₂ es uno de los principales contaminantes atmosféricos y causante del calentamiento global del planeta junto con el metano (CH₄), los cambios en la composición de la atmósfera durante el último milenio muestran el rápido aumento de las concentraciones de CO₂ que se puede atribuir principalmente al crecimiento industrial desde el año 1750.

Por otro lado los suelos inundados poseen condiciones anaerobias que favorecen la producción de metano de manera natural y aunque el metano (CH₄) es mucho menos abundante que el CO₂ en la atmósfera, una molécula de metano absorbe 21 veces más la radiación infrarroja que una molécula de CO₂ (Hernández, 2010; Mendoza *et al.*, 2013).

Estos gases de CO₂ y CH₄, provocan un efecto de calentamiento global en la atmósfera por lo que se debe conocer con amplitud el mecanismo natural de emisión y captura en los ecosistemas costeros. Urgen medidas tales como ampliar los sumideros naturales que permitan absorber gases y proteger el medio ambiente. Así como proteger la vida humana y los recursos ecológicos (BM, 2010).

El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo del estado medio del clima que también puede deberse a factores naturales. Sin embargo, los rápidos cambios que se han producido desde mediados del siglo pasado se han debido, en gran medida, a las emisiones de gases de efecto invernadero de la humanidad a la atmósfera (OMM, 2013).

La crisis del incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera entonces tiene indudablemente origen antropogénico, por lo que debemos cambiar esta visión utilitarista que la población tiene de ella, por una visión ecocéntrica que permita la preservación de un recurso común tan importante para la vida como es la atmósfera.

Hoy en día, el progreso tecnológico orientado hacia la reconversión ecológica está siendo resultado de disminuir los ritmos de producción de gases de efecto invernadero, pero no de revertir un proceso que ya ha rebasado los umbrales del equilibrio ecológico

y ha empezado a desencadenar severos impactos en el ambiente y en la humanidad, sobre todo en las comunidades más vulnerables (Leff *et al.*, 2002).

De acuerdo con Radford (2014) la cantidad de metano emitido a la atmósfera desde los ecosistemas de agua dulce aumentará a medida que el clima se calienta y esto provocará un mayor calentamiento. Esto destaca otro mecanismo por el cual el ciclo global del carbono puede acelerar en lugar de mitigar, el cambio climático futuro.

Existen poblaciones asentadas en los márgenes y en los afluentes que alimentan a la laguna de Coyuca y descargan aguas negras, fertilizantes y plaguicidas, producto de la actividad agropecuaria, entonces se hace muy necesario conocer ¿cómo? ¿cuánto? y ¿cuál? es el grado de afectación del cuerpo de agua y como las especies que habitan este ecosistema lagunar están respondiendo a la contaminación de su hábitat natural la cual se debe principalmente a las descargas de actividades antrópicas y a procesos fisicoquímicos y ecofisiológicos que ocurren en estos (Lango *et al.*, 2010).

Al tomar conciencia actual de los potenciales riesgos de los contaminantes en el medio ambiente acuático se ha estimulado el interés por el uso de organismos acuáticos como indicadores para el monitoreo de genotoxicidad ambiental (Cavas, 2011). Estos compuestos presentes en el medio acuático generan daño en función del tipo de contaminante, concentración y permanencia en el medio, por lo que pueden tener efectos negativos sobre la vida, por lo que su monitoreo mediante la prueba de micronúcleos, permite conocer la afectación de los contaminantes en especies depredadoras.

2. ANTECEDENTES

2.1 La contaminación del agua

El desarrollo acelerado de las actividades económicas ha propiciado un crecimiento desordenado de la zona costera, lo que a su vez ha dado lugar a conflictos ambientales derivados de la competencia por el espacio, el uso de los recursos y la generación de residuos y contaminantes, conflictos que influyen en el deterioro de la calidad de vida y en la disminución de la competitividad de los mismos sectores y en sus actividades económicas (Lara *et al.*, 2008).

De esta forma el agua está adquiriendo creciente importancia no solo en los procesos productivos como insumo directo, sino en la calidad de vida, la salud y el bienestar de la población. Durante los últimos 20 años se ha duplicado el consumo del líquido en el planeta. Más de 20 países sufren escasez de agua por no disponer de un mínimo de 1000 M³ por año por persona. El Programa de la Naciones Unidas encargado del Medio Ambiente (PNUMA) calcula que dos tercios de los habitantes tendrán en el año 2025 condiciones de estrés hídrico (Oswald, 2003).

Todos los pueblos y civilizaciones necesitan el agua para diversos usos: para la industria, para la agricultura, para la ganadería, y uso doméstico. El agua es un recurso importante para la población en general, el control sanitario del ambiente de vida es tan importante que las condiciones insalubres han producido más muertes y enfermedades que casi cualquier otro factor de diverso orden (San Martín, 2003). Desde tiempos muy remotos el agua ha sido un vehículo mediante el cual se transmiten gran cantidad de enfermedades, este problema es particularmente grave en los países de economías subdesarrolladas; aunque cada vez es mayor el control de la calidad de las aguas de consumo, debido a que puede ser un medio importante de transmisión de enfermedades (Lovera, 2006), así mismo cabe destacar la importancia del agua para consumo humano que se ve reducida por la contaminación (Costa *et al.*, 2011; Torres *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2013).

En México se ha reportado incremento de los casos mensuales de cólera durante los meses de lluvias (Jiménez, 2001) como resultado de las prácticas culturales de la defecación al aire libre, la cría de animales domésticos en los márgenes y sobre el cauce de los ríos, barrancas y arroyos, los cuales son arrastrados por la lluvia junto con desechos sólidos, agroquímicos y una gran diversidad de contaminantes que llegan a los cuerpos receptores de aguas.

Esta situación se repite en diversos ríos, lagos y lagunas a lo largo del territorio nacional, los monitoreos realizados en el lago de Pátzcuaro en el estado de Michoacán muestran a un lago enriquecido por nutrientes (fosforo total mayor a 0.05 mg/L), carga orgánica alta (60 a 220 mg/L) y bacteriológica alta (coliformes fecales mayor a 200 NMP/100mL) debido a la contaminación por descargas municipales, un dren agrícola y corrientes efímeras y perennes que transportan la mencionada contaminación (Escalante *et al.*, 2003). Un estudio del río seco en el estado de Veracruz muestra que dicho río se encuentra fuertemente contaminado por materia orgánica, nitrógeno y materia fecal, lo que limita sus usos y deteriora el ambiente (Torres *et al.*, 2013).

El mundo enfrenta un déficit de agua potable. Las diversas actividades del ser humano están destruyendo la capacidad natural de recuperación de los ecosistemas acuáticos. Principalmente la industria hace uso de sustancias nocivas con alto nivel de persistencia y la prevalencia de esta contaminación industrial ha provocado cambios drásticos en el medio ambiente, deteriorando la calidad de vida y el desarrollo social de las comunidades. Para demostrar el origen industrial de esta polución y su gravedad, Greenpeace (2013) documentó la situación de las cuencas de los ríos Lerma en el estado de México, y del Atoyac en Puebla, donde demostró la falta de cumplimiento de las normas, la nula inspección, supervisión y sanción de las diversas industrias que descargan sustancias tóxicas en el río, propiciando la contaminación del medio ambiente y graves problemas de salud a cientos de comunidades que viven cerca de esas cuencas.

2.2 Historia ambiental de la laguna de Coyuca

Durante la década de los 80's el sistema costero de "Coyuca" es considerado como de alta productividad, con clima cálido subhúmedo, temperatura media anual de 29 °C, transparencia promedio de 47.63 cm, pH promedio de 7.9, con estas propiedades se conserva a la laguna en condiciones oligohalinas, característica principal de la "Laguna de Coyuca" (Ramírez, 1988). Era el hábitat natural de gran diversidad de especies acuáticas, subacuáticas y terrestres. El langostino *Macrobrachium tenellum* (Smith 1871) fue estudiado de 1975 a 1981 en 4 lagunas del sistema lagunar costero de Guerrero: en las lagunas de Mitla, Coyuca, Tres Palos y Chautengo (Guzmán, 1987), en la laguna se realizan pesquerías de tipo artesanal del langostino de laguna o chacal (*Macrobrachium tenellum*), y eventualmente de otras especies de crustáceos y de peces como charales (*Astyanax fasciatus*), mojarra (*Cichlasoma trimaculatum*), lisas (*Mugil curema*), y cuatetes (*Galeichthys caerulescens*). Además, en esta laguna se encontraban al menos 5 especies de moluscos vivos como *Nerita cassiculum*, *Biomphalaria* sp., *Physella* sp., *Amnicola* sp., una especie de almeja comestible. Entre los vertebrados se mencionan en la laguna a la nutria o perro de agua (*Nutria* sp.) (Román, 1996), actualmente estas especies mencionadas de moluscos ya no se encuentran, han desaparecido de la laguna de Coyuca, solo quedan las especies de peces y con una población bastante disminuida.

López (1986) encontró que la temperatura del agua y la salinidad, presentaron una variación anual entre 33 a 25 °C y de 5 a 1 ups respectivamente, lo cual caracteriza a la laguna como de tipo tropical y oligohalina. La transparencia mostró los valores en época de lluvias (26.2 Cm) y los menores en época de secas (7.52 Cm). El pH osciló entre 6 y 8; el oxígeno disuelto de 12.9 a 4.1 mg/l. Los nutrientes, como el NH₄ de 16.6 a 5.7 mg-at/l, los NO₃ de 7.7 a 1.8; los NO₂ de 2.38 a 0.08 y los PO₄ de 7.7 a 0.04 mg-at/l. Los valores de la D.B.O. oscilaron entre 14.89 y 3.33 mg O₂/l y de D.Q.O. de 21.32 a 4.06 mg O₂/l, inferiores a lo registrado en otros ambientes. Estas condiciones son ecológicamente aceptables y no denotaron aún la influencia de actividades antropogénicas.

En los inicios de la década de los 90's, la laguna toma gran importancia en la región como fuente de recursos para los pobladores colindantes, presenta una alta producción pesquera de especies comerciales y reviste una gran importancia ecológica, ya que representa un área de crianza y/o alimentación de numerosas poblaciones de peces, desde ese tiempo Clemente *et al.* (1993) mencionaban que se debería tener prioridad en el manejo y protección de esta laguna.

Sin embargo, desde mediados de la década del 90 y la década de 2000 predominó la concepción entre los pobladores de la zona de percibir a la laguna como una fuente inagotable de recursos pesqueros, forestales y ecoturísticos; el uso de técnicas de pesca prohibidas como el arrastre y el encierro las cuáles dañan a la cría están trayendo consecuentemente una drástica disminución de la cantidad y el tamaño de los peces de captura, hasta la desaparición de algunas especies de la laguna como el pez charro actualmente ya inexistente junto con otras especies de moluscos y vertebrados.

Esta condición bastante deteriorada del ecosistema y la baja productividad pesquera, trajo como consecuencia que del 2005 a la fecha los habitantes de las poblaciones cambiaran de actividad hacia la agricultura y la ganadería, por ser actividades económicas más rentables.

Además, otros factores ambientales como el cambio en los regímenes de lluvias, la deforestación, la sedimentación y la contaminación, han ocasionado el deterioro y la disminución del área de manglar haciendo cada vez más vulnerable este ecosistema (Martínez *et al.*, 2011).

Muchas de las poblaciones que se localizan en los márgenes de la laguna de Coyuca no cuentan con los servicios de agua potable y drenaje. Se utiliza el agua de pozos directamente sin tratamiento alguno para el uso doméstico y consumo humano, el problema se agravó ya que al no contar con servicio de drenaje, los habitantes construyeron letrinas y fosas sépticas en sus terrenos que son suelos muy permeables.

Es un hecho que se presentan elevadas concentraciones de contaminantes en las cercanías de grandes núcleos de poblaciones humanas. La contaminación es atribuible a las descargas directas de agua residual provenientes de los asentamientos humanos ubicados en la barra y en menor proporción a los establecidos a orillas de la laguna (Barrera *et al.*, 1998).

La laguna está siendo seriamente afectada por fertilizantes y agroquímicos que son utilizados en los campos agrícolas, en las huertas de cocotero, plátano y mango que se cultivan en la zona cercana al río Coyuca y en la cuenca hidrográfica del cuerpo lagunar; estas actividades humanas influyen en los procesos de sedimentación y eutrofización, así impactan la calidad del hábitat de las especies acuáticas (Martínez *et al.*, 2011).

2.3 CO₂ y CH₄ Causas del calentamiento global

El carbono es un elemento importante en la estructura y función de los seres vivos, su tetravalencia le permite constituir gran número de compuestos y moléculas orgánicas. Forma parte de un ciclo que en estas últimas décadas ha estado moviéndose hacia el carbono inorgánico, hacia el CO₂. Entre algunas causas principales se encuentra, por un lado, la utilización de combustibles fósiles para generar energía, los motores de combustión interna de vehículos y camiones y por otro la disminución de las áreas de selvas y bosques, la contaminación de los ríos, lagos, lagunas y océanos, que ocasiona acumulación de carbono inorgánico.

El carbono inorgánico en forma de CO₂ es un contaminante principal de la atmósfera y causante del calentamiento global del planeta junto con el metano (CH₄) son los principales gases de efecto invernadero (Berra, 2002) cuya concentración se ha incrementado alarmantemente en los últimos años.

Ortiz-Llorente *et al.* (2012) plantea que para un conocimiento más preciso de la dinámica de este gas a nivel global, habría que medir las emisiones en zonas áridas y semiáridas, así como en zonas tropicales, en las que hasta la fecha se han realizado pocos estudios.

De acuerdo al IPCC (2013) el calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel de mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado.

Nueve de los años del decenio se contaron entre los 10 años más cálidos de los que se tiene registro. El año más cálido jamás registrado fue 2010, con una anomalía de temperatura media estimada en 0,54 °C por encima del dato de referencia de 14.0 °C (OMM, 2013).

El rango de valores para finales del siglo es muy grande (0,3°C - 4,8°C), aunque se destaca, con gran confianza; que la región Ártica tendrá un calentamiento por encima de la media, que será mayor en los continentes que en los Océanos, y también mayor en los trópicos y las zonas subtropicales que en latitudes medias (García, 2013).

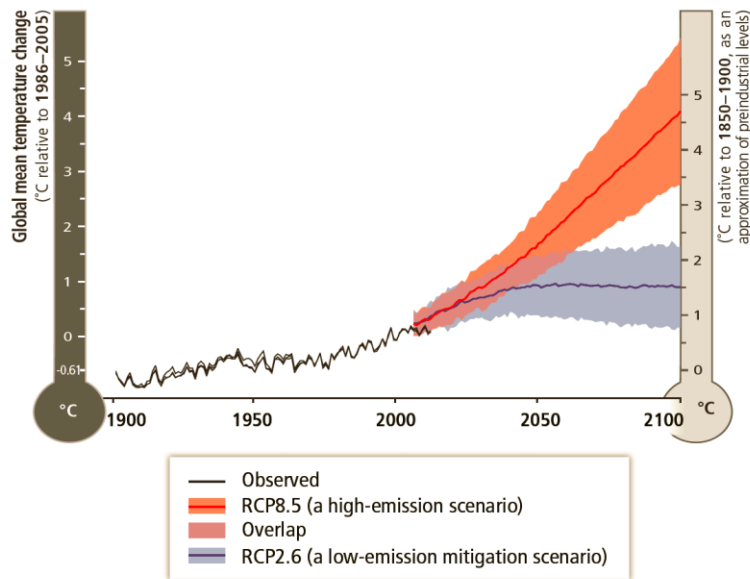


Figura 1. Temperatura media estimada al 2100, tomado de: IPCC WGII AR5 Summary for Policymakers WGII AR5 Phase I Report Launch 1 31 March 2014.

Las emisiones continuas de gases de efecto invernadero causarán un mayor calentamiento y nuevos cambios en todos los componentes del sistema climático. Para contener el cambio climático, será necesario por un lado reducir de forma sustancial y sostenida las emisiones de gases de efecto invernadero y además incrementar la captura de dichos gases. Las previsiones del incremento de la temperatura media global para finales del siglo causarán cambios devastadores para los ecosistemas.

El período comprendido entre 2001 y 2010 fue el decenio más cálido jamás registrado desde que se empezaron a realizar mediciones en la época moderna hacia 1850. Se estima que la temperatura media mundial del aire sobre la superficie terrestre durante este período de 10 años fue de $14,47\text{ °C} \pm 0,1\text{ °C}$, es decir, $0,47\text{ °C} \pm 0,1\text{ °C}$ por encima de la media mundial del período comprendido entre 1961 y 1990 que fue de $+14,0\text{ °C}$ y $+0,21 \pm 0,1\text{ °C}$ por encima de la media mundial registrada entre 1991 y 2000. Esto es, $0,88\text{ °C}$ por encima de la temperatura media durante el primer decenio del siglo XX, 1901-1910 (OMM, 2013).

Actualmente existe una gran controversia sobre si los estuarios actúan como fuentes o como sumideros de CO_2 , esta incertidumbre se debe particularmente a que los estudios en estas zonas cubren un corto periodo de tiempo (García *et al.*, 2005).

Por otro lado ante las posibles repercusiones del cambio atmosférico y climático, una gran atención se le ha prestado a la vegetación, y muy especialmente a las masas forestales como potencial de sumidero del exceso de CO_2 emitido por la actividad humana a la atmósfera. La vegetación es la encargada de incorporar el carbono atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis (SEMARNAT, 2001).

En este sentido, Rodríguez *et al.* (2009) proponen que el manejo de las áreas naturales protegidas y los bosques naturales son una de las mejores opciones para la captación de carbono. Así mismo se identifican dos opciones básicas para conservar y almacenar carbono por el sector forestal: a) conservación, fomentando el manejo sostenible de bosques naturales y el uso renovable de la leña y mediante la reducción de incendios; y b) reforestación, dedicada a almacenar y recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas y la reforestación urbana.

Dado que durante el periodo de lluvias se incrementa notablemente la cantidad de materia orgánica que se encuentra presente en los cuerpos receptores de agua, se ha encontrado que el flujo de CH_4 es directamente influenciado por la variación cuantitativa en bacterias metanogénicas y metanotróficas en los humedales (Zhu *et al.*, 2007).

Así mismo podríamos observar si la lixiviación del basurero municipal de Coyuca de Benítez localizado en la cuenca de la laguna está afectando de manera importante este cuerpo de agua y como en este caso, los suelos inundados poseen condiciones

anaerobias que favorecen la producción de metano (CH₄), el cual es considerado un gas de efecto invernadero (Hernández, 2010).

Dado que esta laguna provee de recursos pesqueros a un importante número de habitantes de poblaciones cercanas, debemos tener en cuenta los problemas causados por la sobreexplotación, contaminación y deterioro del ecosistema y las posibles repercusiones en su mayoría desconocidos del cambio climático en este sector (Martínez *et al.*, 2011).

De acuerdo a Aburto *et al.* (2015) el estudio de la contaminación en ecosistemas acuáticos es de gran relevancia debido a su importancia en la conservación del ambiente y a que son fuente de recursos para las poblaciones locales.

2.4 Bioindicadores

Los bioindicadores son organismos que pueden responder a la contaminación ambiental a través de su capacidad para acumular contaminantes en sus tejidos, su comportamiento muestra una relación lineal en términos dosis-respuesta ya sea con la concentración de un contaminante o con el tiempo de exposición (Pignata, 2003).

Se han utilizado numerosas especies como bioindicadores de los cambios ambientales. En este caso, la identificación de la especie *Ariopsis guatemalensis* fue realizada en el Laboratorio de Oceanografía de la Unidad Académica de Ecología confirmando con el color distintivo azul de la piel.

Un marcador biológico es aquel organismo que acumula sustancias en sus tejidos, reflejando de manera indirecta los niveles de estas sustancias en el ambiente. Es ampliamente aceptado que los efectos de las sustancias tóxicas sobre un ecosistema se inician con una reacción bioquímica en el individuo. Esta respuesta inicial ocurre en niveles de organización biológica más bajos y es altamente reversible y específica (Bozo *et al.*, 2007).

Los organismos como los peces, son comúnmente utilizados para el biomonitoreo de contaminantes en ecosistemas acuáticos, ya que pueden absorber sustancias contaminantes del agua a través de las branquias y mediante la ingestión de

sedimentos o alimentos contaminados (Reis *et al.*, 2009). Este monitoreo citogenético en peces de la laguna de Coyuca en el estado de Guerrero, permite detectar de manera rápida y oportuna el nivel de contaminación ambiental al que se ve sometido este importante cuerpo lagunar.

Además, tienen una amplia distribución bioecológica en todos los ecosistemas acuáticos, ocupan diferentes niveles tróficos y están en contacto directo con los contaminantes (Osman *et al.*, 2012). Estos organismos constituyen parte de la dieta de mamíferos acuáticos y aves, al igual que proporcionan una importante fuente de proteínas en la dieta humana, de ahí la importancia del mantenimiento de unas poblaciones sanas. En los últimos años se ha venido observando que la fertilidad de ciertas poblaciones salvajes de peces se encuentra adversamente afectada por la contaminación doméstica (Oropesa, 2008).

La toxicidad en los peces es la culminación de una serie de eventos relacionados con diversos procesos físicos, químicos y biológicos. Dentro de las especies ícticas utilizadas para estudios toxicológicos se encuentra *Ariopsis* sp, así, el daño registrado en el DNA es evidencia de la exposición de las especies a una mezcla de contaminantes genotóxicos que refleja el grado de estrés ambiental de los organismos acuáticos (Gonzalez *et al.*, 2010).

Así como el monitoreo citogenético es considerado como parte integral de una buena vigilancia médica en las personas en contacto con plaguicidas, ya que permite evaluar el riesgo potencial de las exposiciones ocupacionales, lo que permite tomar las medidas necesarias sobre identificación temprana de riesgo genético (Martínez y Gómez, 2007), también debe ser considerado para evaluar el daño en las especies que habitan los ecosistemas acuáticos y estos organismos puedan ser utilizados como indicadores biológicos de agentes contaminantes para el monitoreo de la Laguna de Coyuca.

El uso de plaguicidas en concentraciones superiores para la agricultura ribereña sugiere la necesidad de realizar estos trabajos de vigilancia en los cuerpos de agua, ya que por lo general, las sustancias más solubles en agua y más persistentes, es decir, las que tienen mayor tiempo de vida media, son las más fácilmente transportables y representan el mayor riesgo de contaminación. Para ello se recomienda implementar

programas de vigilancia dirigidos a la protección de la salud humana y el ambiente (Hernández y Hansen, 2011).

2.5 Análisis de micronúcleos (MN) en peces

Los peces en general pueden absorber compuestos contaminantes del agua básicamente por la respiración a través de las branquias o por ingestión de sedimentos o alimentos contaminados, son considerados organismos bioindicadores idóneos, capaces de acumular sustancias tóxicas y reaccionar fácilmente a bajas concentraciones de agentes mutágenicos (Torres *et al.*, 2007).

Otro elemento adicional a la importancia del uso de los peces como bioindicadores es el hecho que son parte importante de la cadena alimenticia y son consumidos por la población en general. Además, los peces de agua dulce tienen mayor cantidad de sangre que los de agua salada, haciéndolos muy útiles en experimentos de toxicología cuando se trabaja con células sanguíneas (Torres *et al.*, 2007).

La prueba de MN fue desarrollada por Schmid (1975), basándose en el hecho que durante la división celular particularmente durante la mitosis, cuando un cromosoma se rompe, el fragmento acéntrico se retrasa entre los polos y se transforma en un núcleo más pequeño que el núcleo principal, llamado micronúcleo (Arencibia y Rosario, 2003; Roldan y Pérez, 2006; Zalacain *et al.*, 2005).

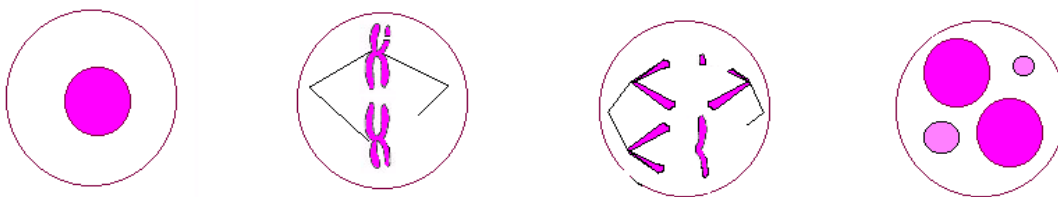


Figura 2. Formación de células binucleadas con micronúcleo (tomado de Palma, 2005).

Estos MN se forman por fragmentos de ADN retrasados durante la migración de cromosomas homólogos durante la anafase. La prueba de micronúcleos (MN) detecta el efecto de agentes mutagénicos sobre los cromosomas mediante la identificación de fragmentos acéntricos y/o cromosomas rezagados que al quedar fuera del núcleo forman tales estructuras. La técnica permite detectar tanto agentes clastogénicos, que rompen cromosomas como aneuploidogénicos, que afectan el huso mitótico (Schmid, 1975).

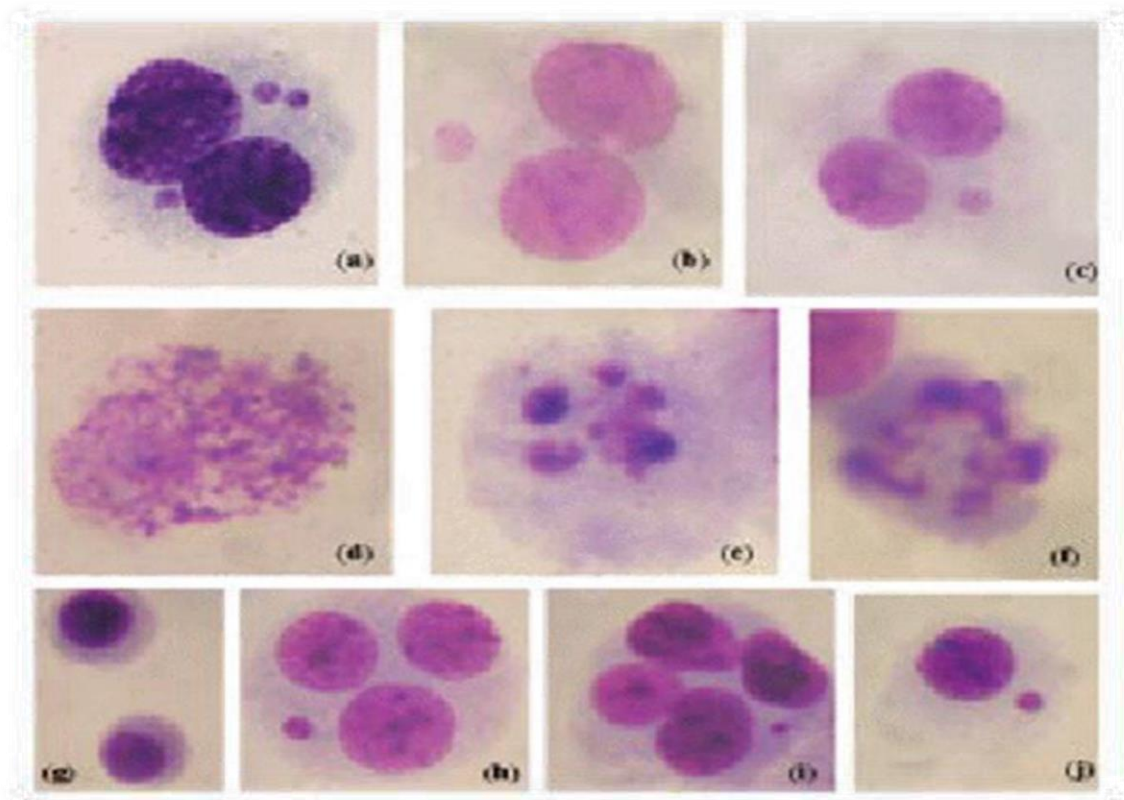


Figura 3. (a) (b) y (c) células binucleadas portadoras de micronúcleos; (d) (e) y (f) distintos estadios de células en vías de apoptosis; (g) (h) e (i) células con distintos índices de división celular: (g) células mononucleadas; (h) célula trinucleada portadora de micronúcleos; (i) tetranucleada portadora de micronúcleos, y (j) célula mononucleada con micronúcleos (Zalacain *et al.*, 2005).

Los MN son formados por daño cromosómico en las células basales del epitelio y cuando estas células se dividen, los fragmentos cromosómicos (acéntricos) o

cromosomas completos que carecen de unión al huso mitótico son excluidos del núcleo principal en las células hijas y aparecen como cuerpos Feulgen-específicos en el citoplasma (Gómez *et al.*, 2013).

La prueba de micronúcleos es utilizada ampliamente en los estudios de monitoreo ambiental, ya que la técnica es rápida, simple (Bolognesi y Hayashi, 2011), las muestras se obtienen con relativa facilidad y no requiere de equipos complejos, solo un microscopio óptico, laminillas; metanol, ácido acético y colorante de Giemsa,

El recuento de micronúcleos se realiza en 2 portaobjetos por espécimen por un solo observador y contando 2000 células a 1000x y aceite de inmersión.

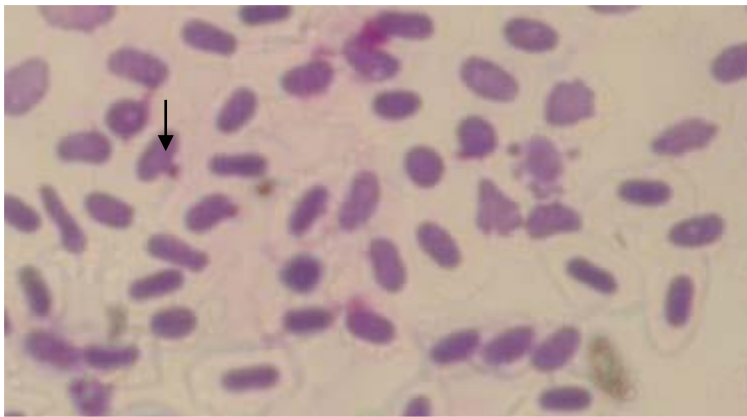


Figura 4. Eritrocito micronucleado (Tomado de Palma, 2005).

Suponemos que el agua de la laguna de Coyuca, presenta una fuerte contaminación física, química y microbiológica ocasionada por las descargas irregulares de los núcleos poblacionales asentados en los márgenes de la laguna, del río y arroyos que la alimentan; particularmente en los meses de mayo a octubre que son el período de lluvias y esta contaminación puede ser responsable de generar daño genotóxico a las especies de peces que habitan en la laguna. De tal manera que los hábitats acuáticos son el sumidero final de muchos compuestos químicos y el agua puede servir como un vehículo de exposición a muchos agentes tóxicos (Datta *et al.* 2009).

Un estudio realizado por Baéz *et al.* (2004) sobre la bioacumulación de arsénico en Pez Cebra (*Danio rerio*) y los probables daños genotóxicos en células de branquias, evaluando la inducción de micronúcleos, encontró una disminución del arsénico en el agua en el tiempo en tanto que en peces se produce un incremento del mismo.

De esta manera se hace necesario el estudio sistemático de las especies acuáticas que habitan las lagunas del estado de Guerrero en virtud que la contaminación de los cuerpos de agua continentales constituye un serio problema que afecta a los ecosistemas, las actividades productivas y pone en riesgo la cantidad y calidad del agua, existen muchas sustancias que diariamente son liberadas a los embalses o cauces de agua modificando las condiciones a los organismos que los habitan (Torres *et al.*, 2007).

Principalmente los plaguicidas utilizados en la agricultura son lavados y arrastrados por la lluvia llegando a los cauces naturales de las aguas. Para el año 2000 el consumo de plaguicidas en México se estimó en 50 000 t/año, con un valor de mercado entre 400 y 600 millones de dólares americanos. Entre los estados que reportan mayor uso de plaguicidas se encuentran Sinaloa, Chiapas, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Colima, Sonora, Baja California, Tamaulipas, Michoacán, Tabasco, Estado de México, Puebla y Oaxaca (Benítez y Miranda, 2013).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El estado de Guerrero es rico en recursos hidráulicos, cuenta con varios ríos importantes como el Balsas, el Papagayo, el de Coyuca de Benítez, Marquelia, Nexpa, entre otros; también cuenta con un sistema lagunar costero formado por la laguna de Tres Palos de 50 km², la laguna de Coyuca de 34 km², la de Mitla de 36 km², la de Chautengo de 34 km², la de Tecomate de 21 km² y la de Nuxco de 6.5 km² entre las más importantes (Yáñez *et al.*, 1976) de las cuales es necesario tener información reciente sobre el estado que guarda cada uno de estos cuerpos de agua.

Los GEI tanto naturales como producidos por el hombre absorben radiación infrarroja emitida por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Al ser casi opacos para la salida de la radiación infrarroja y semitransparentes para la radiación solar que entra, el calor se queda atrapado dentro del sistema troposfera-superficie, que es a lo que se le llama el efecto invernadero. El aporte benéfico de los GEI naturales en la historia de nuestro planeta, ha consistido en la posibilidad de mantener una temperatura promedio de 15- 16° C (IPCC, 2001).

Por otro lado, la medición de dos gases de efecto invernadero como son el CO₂ y CH₄ en la laguna de Coyuca nos indicará el comportamiento natural del ecosistema en cuanto a la emisión u absorción de los GEI de estudio. De esta manera, el presente trabajo de investigación proporciona información muy útil para la toma de decisiones y en el diseño de las políticas ambientales por parte de los gobiernos estatal y municipal para proponer medidas de mitigación y remediación para el ecosistema acuático en estudio.

En la laguna de Coyuca, la economía de varias poblaciones ribereñas depende de la buena calidad del agua ya que los pobladores se dedican a la pesca, a la agricultura y al turismo. También es utilizada para el uso doméstico y para el consumo humano previo tratamiento por dos plantas de agua embotellada. Es aquí donde radica la importancia de determinar el grado de contaminación de la laguna para encontrar las fuentes de contaminación dado que los compuestos químicos que ingresan en los ecosistemas acuáticos pueden causar efectos peligrosos en organismos marinos y de agua dulce (Russo, *et al.*, 2004).

La contaminación ambiental en los ecosistemas acuáticos es un problema que se ha agravado en los últimos años en los países del tercer mundo; el monitoreo citogenético de especies que puedan ser usadas como bioindicadores brinda un método rápido y oportuno para poder determinar si este ecosistema presenta contaminación. Los peces son unos de los más adecuados modelos para estimar los posibles riesgos en el ambiente acuático, debido a su capacidad para metabolizar eficientemente y acumular contaminantes que se integran al material genético de éstos (Cavas, 2011), nos preguntamos si *Ariopsis guatemalensis*, resulta un buen marcador biológico para el monitoreo de la Laguna de Coyuca.

Además, los contaminantes acuáticos producen múltiples consecuencias en el organismo, la población, la comunidad y el nivel de los ecosistemas, la función del órgano que afecta, el estado reproductivo, el tamaño de la población, la supervivencia de las especies y por lo tanto la biodiversidad (Bolognesi y Hayashi, 2011).

De esta manera, el periodo de estudio de un año de la laguna costera de Coyuca permite obtener valores que darán certidumbre de la emisión de CO₂ y CH₄ a lo largo de dicho año, para observar con mayor detalle el comportamiento de éste cuerpo lagunar.

El análisis de los datos obtenidos brinda la oportunidad de implementar acciones tendientes a mejorar el ecosistema acuático. Ésta información será muy útil en la toma de decisiones y en el diseño de la política ambiental por parte de los gobiernos estatal y municipal en virtud que la economía de varias poblaciones ribereñas depende de la buena calidad del agua de la laguna, ya que los pobladores se dedican a la pesca, a la agricultura y al turismo, también es utilizada para el uso doméstico y para el consumo humano. Es aquí donde radica la importancia de determinar el grado de contaminación de la laguna para encontrar las fuentes de contaminación y proponer medidas tendientes a reducirla.

4. OBJETIVOS

a. OBJETIVO GENERAL

Valorar el comportamiento de CO₂ y CH₄, en la Laguna de Coyuca y relacionarlo con las condiciones ambientales para conocer su interacción con la atmósfera y determinar la influencia de las actividades humanas en la contaminación de este ecosistema

b. OBJETIVOS PARTICULARES

1. Determinar los parámetros físico-químicos de temperatura, pH, salinidad, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto de la zona de estudio para evaluar el comportamiento de la laguna a lo largo de año.
2. Cuantificar la emisión y captura de carbono y metano del cuerpo de agua en cinco puntos de muestreo para poder comparar las zonas de mayor y menor emisión y captura
3. Evidenciar la respuesta a la exposición de contaminantes genotóxicos mediante la formación de micronúcleos y anomalías nucleares en *Ariopsis guatemalensis*, especie nativa de la Laguna de Coyuca.
4. Realizar un Análisis de Componentes Principales para determinar la correlación entre las variables fisicoquímicas y los Gases de Efecto Invernadero (GEI)

5. HIPÓTESIS

Hipótesis 1.

Las actividades antropogénicas realizadas en las poblaciones asentadas en los márgenes de la Laguna de Coyuca afectan el comportamiento del ecosistema, ello pudiera ocasionar un desequilibrio de la emisión y captura del CO₂ y CH₄.

Hipótesis 2.

Se considera que el agua de la laguna de Coyuca Guerrero presenta una fuerte contaminación física y química ocasionada por las descargas irregulares de los núcleos poblacionales asentados en los márgenes de la laguna, del río y de los arroyos que la alimentan; particularmente en los meses de mayo a octubre que son el periodo de lluvias.

Hipótesis 3.

La contaminación del agua de la laguna está generando alteraciones a nivel cromosómico, por lo que es posible detectar el daño genético mediante el análisis de micronúcleos (MN) en *Ariopsis guatemalensis* (cuatete) de la laguna de Coyuca, Guerrero.

6. METODOLOGÍA

6.1 Área de estudio

El área de estudio seleccionada fue la laguna de Coyuca de Benítez ubicada en la región costa grande del estado de Guerrero al oeste de la ciudad de Acapulco, desde Pie de la Cuesta hasta Coyuca de Benítez unos 11 km de largo por 4 km de ancho; se localiza a los 99° 58' y 100° 08' de longitud oeste y 16° 53' y 16°59' de latitud este y una superficie de 3,079 hectáreas (Contreras, 1993; Tovilla *et al.*, 2009); está conectada por un canal cercano a la comunidad de El Carrizal a la laguna de Mitla, está separada del mar por una franja de arena de entre 100 y 500 metros de ancho donde se localizan poblaciones como La Barra de Coyuca, Luces en el Mar, Los Mogotes y Playa Azul. Otras poblaciones importantes que tienen influencia sobre esta laguna son Coyuca de Benítez, El Embarcadero, San Isidro, Bajos del Ejido, El Conchero y Ejido Viejo.

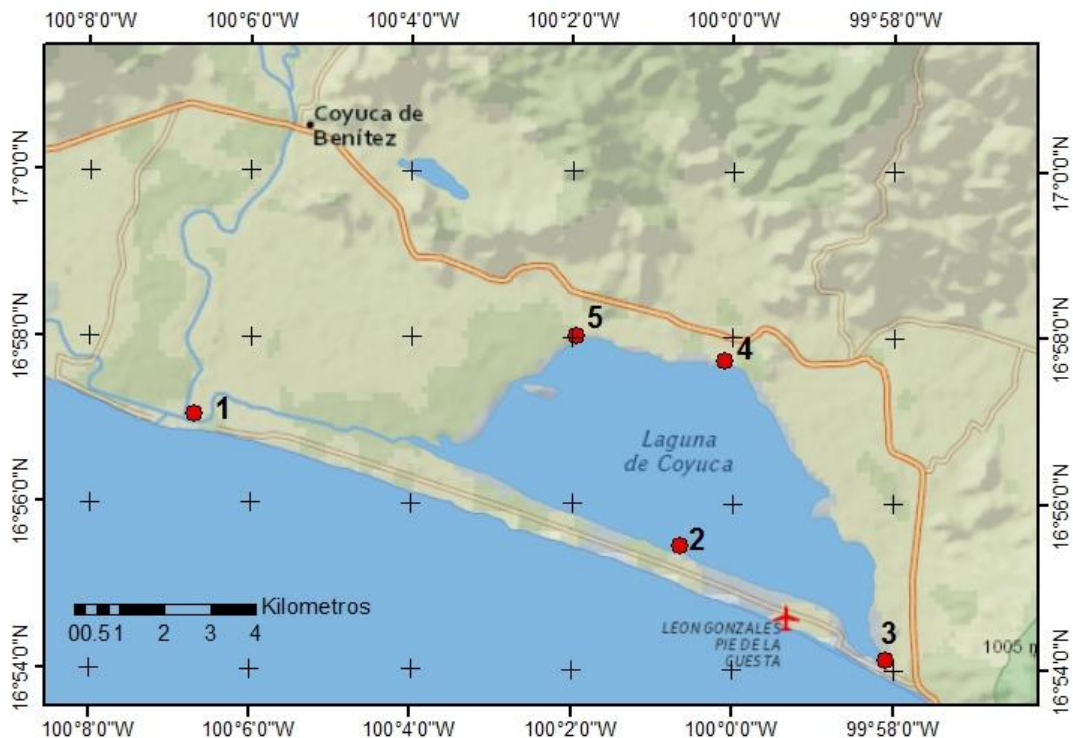


Figura 5. Sitios de muestreo en la laguna de Coyuca, Guerrero.

El nivel hidrológico depende directamente de la lluvia ya que todos los ríos que desembocan en él tienen un régimen de lluvias, a excepción del río Coyuca que fluye todo el año (Monreal, 1991).

Estaciones de muestreo

Considerando que las poblaciones ubicadas en los márgenes de la laguna, el basurero municipal y la desembocadura del río Coyuca representan los lugares donde presuntamente se encontrará una mayor contaminación por el arrastre de materia orgánica, metales y compuestos químicos utilizados a lo largo de los márgenes del río y la laguna, se instalarán cinco estaciones de muestreo distribuidas a lo largo de la laguna utilizando un GPS (Sistema de Georeferenciación Espacial) marca Garmin modelo Etrex para la ubicación de los puntos de referencia.

Tabla 1. Ubicación de los sitios de muestreo.

Estación	Nombre	Latitud	Longitud
01 DRC	Desembocadura del río	16°56'59.35"	100° 06' 41.70"
02 LEM	Luces en el Mar	16°55' 25.35"	100°00' 39.41"
03 PDC	Pie de la cuesta	16°54' 4.12"	99°58' 5.65"
04 EMB	El Embarcadero	16°57' 39.15"	100°00' 6.29"
05 MAN	Mangle	16°57' 57.06"	100°01' 56.75"

Para la selección de los sitios de muestreo se consideraron tres poblaciones importantes situadas en la rivera de la laguna, Pie de la Cuesta por ser un sitio de importancia turística, El Embarcadero, lugar donde los habitantes viven en gran medida de la pesca, Luces en el Mar, población dedicada a la pesca pero en menor proporción que en El Embarcadero dado que los habitantes se trasladan a trabajar al puerto de

Acapulco dado la cercanía de éste lugar; el sitio de estudio denominado mangle fue seleccionado por ser una zona más natural con escasa actividad antropogénica y la desembocadura del río de Coyuca por ser la afluyente principal de la laguna a través de un canal meándrico de aproximadamente 5.6 kilómetros de largo y entre 100 y 160 metros de ancho.

Sitio 1. Desembocadura de Río de Coyuca.

Sitio como su nombre lo indica es el lugar donde desemboca el río de Coyuca, está separada del océano pacífico por un banco de arena, es una zona de vegetación, pastizales y palmeras de coco; a lo largo del banco de arena encontramos restaurantes y zonas recreativas, el sitio es reconocido como zona turística denominado “La Barra de Coyuca” y es la afluyente más importante del cuerpo lagunar durante todo el año.

Sitio 2. Luces del Mar.

Situado en el municipio de Acapulco se caracteriza por ser una zona de unidad habitacional a las orillas de la laguna, observamos actividades de pesca con trasmallo y pangas (pequeñas embarcaciones de madera y fibra de vidrio) con motor de 2 hp. El ecosistema esta modificado debido a las actividades humanas (construcción de casas, escuelas, tiendas, carretera, etc.).

Sitio 3. Zona turística Pie de la Cuesta.

Situado en el municipio de Acapulco es conocida por ser una zona de gran actividad humana, alrededor de la laguna están distribuidos negocios que tienen como finalidad la recreación humana, hoteles, restaurantes, existe un muelle flotante donde amarran lanchas de paseo y yates.

Sitio 4. El Embarcadero.

Es una comunidad situada a las orillas de la Laguna en el municipio de Coyuca de Benítez, cuya principal actividad es la pesca básicamente *Ariopsis guatemalensis* (cuatete), *Dormitator latifrons* (popoyote) y camarón, cuenta con menos de 1500 habitantes.

Sitio 5. Zona de Mangle.

La Microcuenca de la zona de mangle conocida por los pobladores como “El Infiernillo” comprende la porción sur oriental del municipio de Coyuca de Benítez y sur occidental del municipio de Acapulco Guerrero con mucha vegetación principalmente mangle por ello fue elegida como el sitio sin intervención antropogénica, además por la cercanía de la microcuenca del basurero municipal de Coyuca de Benítez. Cabe mencionar que es un tiradero a cielo abierto donde suponemos que los lixiviados se filtran por el subsuelo y llegar al ecosistema acuático. Este ecosistema de manglar está caracterizado por ser de relieve plano y fangoso; parcialmente inundado por aguas relativamente tranquilas (Castillo, 2010).

Se realizaron muestreos cada mes de septiembre de 2012 a agosto de 2013, para observar el comportamiento del cuerpo lagunar durante un año de estudio, considerando los meses de lluvias y de secas para poder analizar y comparar los dos periodos.

6.2 Otras características

6.2.1 Población

El incremento de la población es un factor que ejerce una fuerte presión directamente a los ecosistemas, de acuerdo con INEGI en el estado de Guerrero la población se incrementó de 2 109 513 habitantes en 1980 a 3 388 768 habitantes en 2010. Es decir, más de 1.2 millones de personas en solo 30 años las cuales tienen que satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, transporte, energía, generación de desechos; desde esta perspectiva, el futuro para la naturaleza es bastante incierto.

Las comunidades asentadas en la cercanía del cuerpo de agua, es una situación que está afectando directamente a la laguna, dentro de las más importantes encontramos las siguientes:

TABLA 2. Poblaciones rivereñas de la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero.

POBLACIÓN	TOTAL	HOMBRES	MUJERES
0001 Coyuca de Benítez	13,566	6,585	6,981
0008 Bajos del Ejido	6,165	2,988	3,177
0009 La Barra	907	420	487
0028 La Estación	119	66	53
0025 El Embarcadero	1,370	683	687
0023 El Conchero	1,429	689	740
0035 Los Mogotes	1,284	631	653
0041 Playa Azul	247	112	135
0042 El Carrizal	591	276	315
0123 Colonia Luces en el Mar	1,200	591	609

FUENTE: INEGI 2010.

Algunas de las cuales por encontrarse en la franja de arena entre el mar y la laguna no cuentan con servicio de drenaje municipal y construyen fosas sépticas en dicha franja de arena como se muestra en la figura 6.

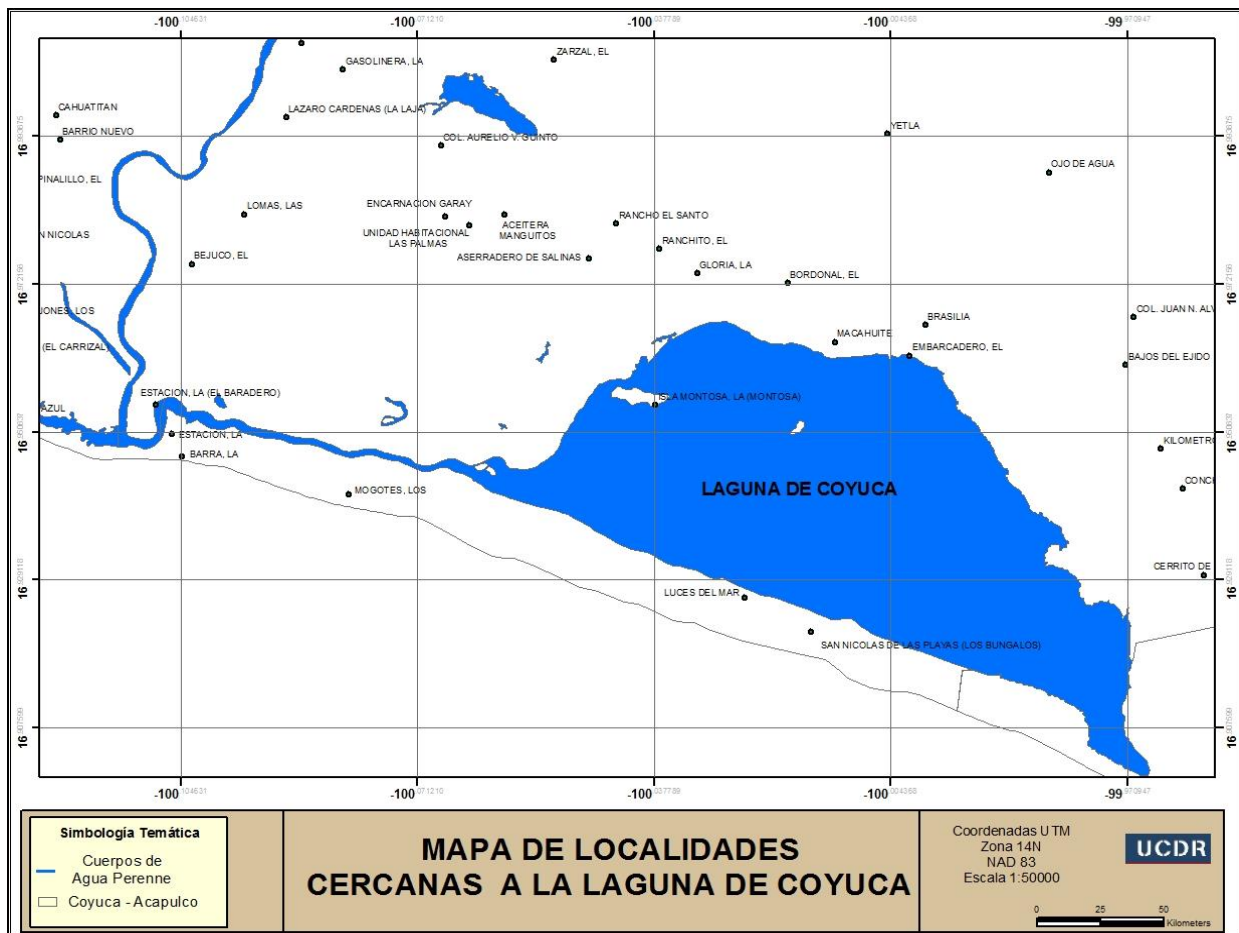


Figura 6. Localidades cercanas a la laguna de Coyuca

6.2.2 Hidrología

La afluyente principal de la laguna de Coyuca es el río del mismo nombre el cual posee agua todo el año, aunque ha disminuido su caudal en los últimos años en los meses anteriores al inicio del periodo de lluvias que son marzo, abril y mayo. También es alimentada por otros arroyos particularmente durante el periodo de lluvias como el río de El Conchero, San Isidro, Bajos del Ejido, El Embarcadero, Cerrito de Oro (figura 7). Otra fuente importante de intercambio de agua (salida-entrada), sales disueltas, nutrientes y especies acuáticas ocurre con la apertura de la boca-barra (SEDER, 2007) que sucede casi siempre enfrente de la desembocadura del río de Coyuca aproximadamente a mediados o finales del mes de agosto cuando el cuerpo receptor de agua se encuentra a su máxima capacidad.

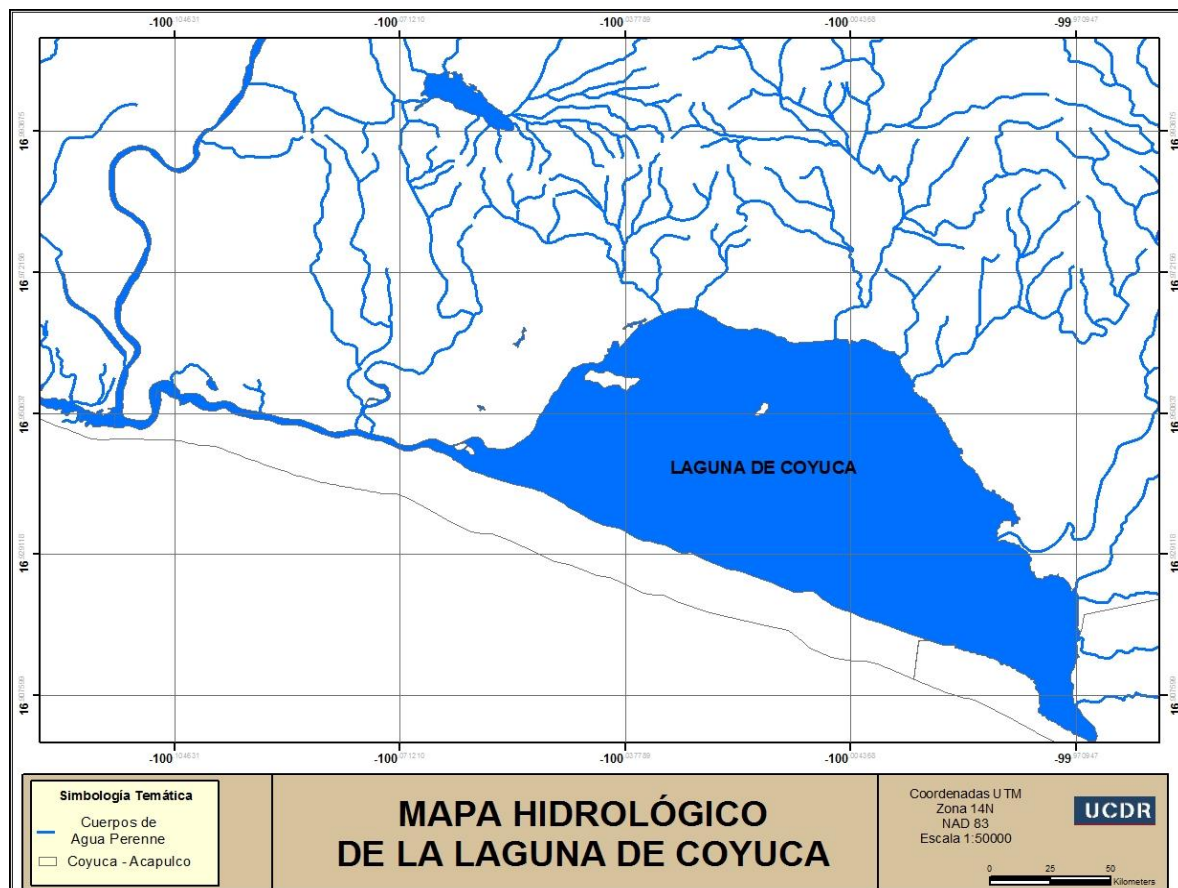


Figura 7. Ríos y arroyos de la laguna de Coyuca

6.2.3 Tipos de climas.

El 82% del estado de Guerrero, presenta clima cálido subhúmedo, el 9% es seco y semiseco, el 5% templado subhúmedo, el 3% cálido húmedo y el 1% es templado húmedo. La temperatura media anual es de 25°C. La temperatura mínima promedio es de 18°C y la máxima de 32°C. Las lluvias se presentan en verano, en los meses de mayo a septiembre, la precipitación media del estado es de 1 200 mm anuales (INEGI, 2010).

De acuerdo a la clasificación de Köppen (1948) modificada por García (1988) solo dos tipos de climas encontramos en el área de la laguna de Coyuca siendo el Awo de tipo subhúmedo tropical, lluvias en verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5-10.2 % del total anual el que prevalece (Rzedowski, 2006) y el Aw1 en la parte noroeste de la laguna, cálido subhúmedo, con temperatura media anual mayor de 22 °C y temperatura del mes más frío mayor de 18 °C, con lluvias en verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5-10.2 % del total anual (figura 8).

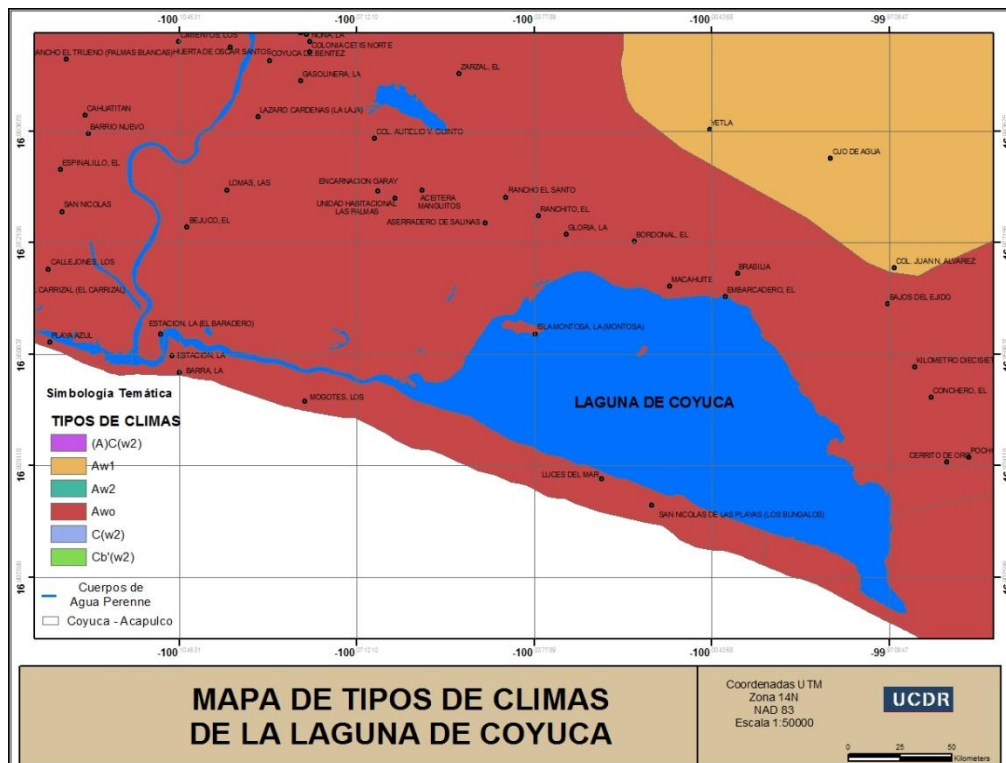
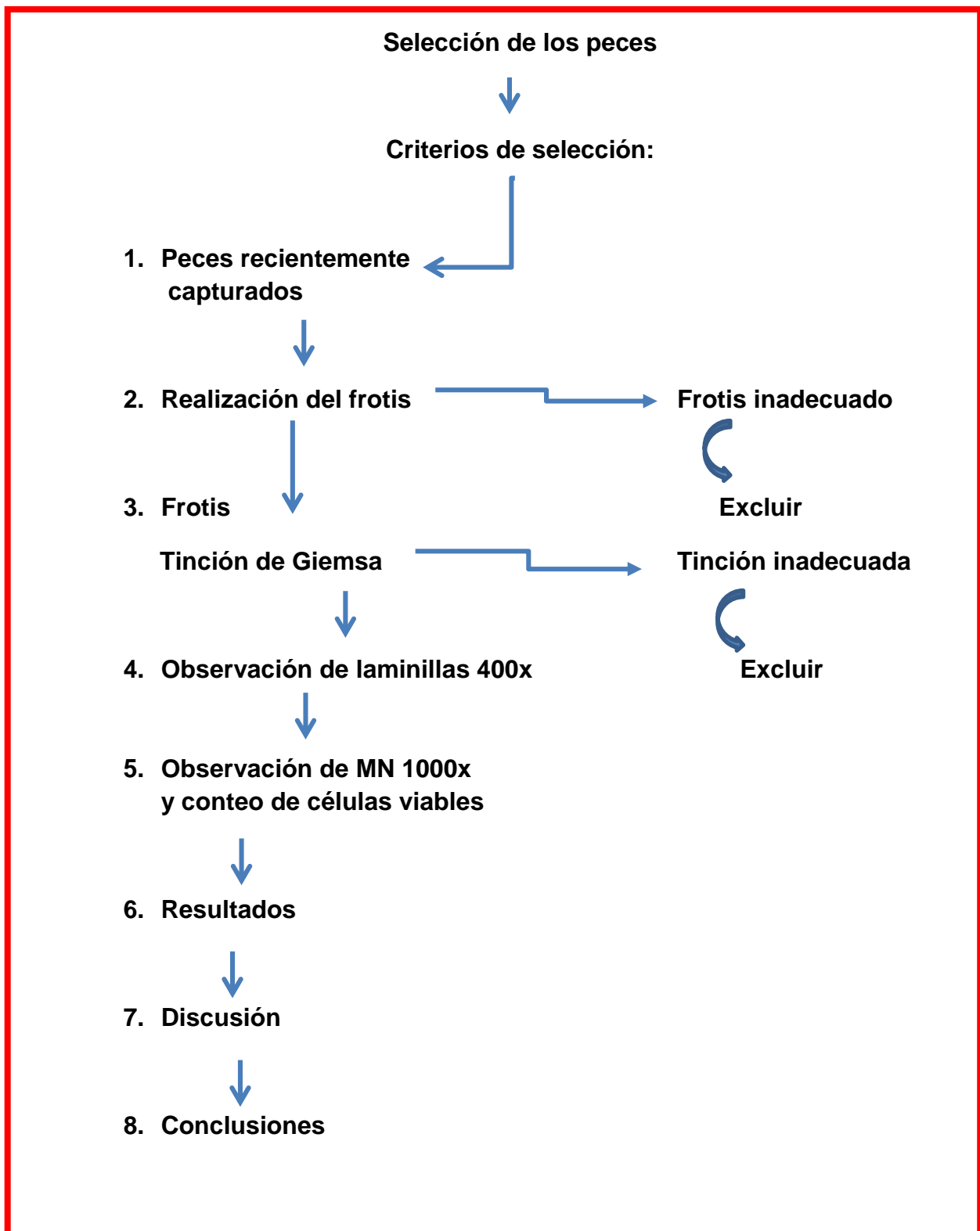


Figura 8. Tipos de climas de la laguna de Coyuca.

6.3 DIAGRAMA DE TRABAJO PARA MICRONÚCLEOS



6.4 MÉTODOS DE MUESTREO

6.4.1 Toma de muestras para recuento de micronucleos (MN)

Se tomó una gota de sangre periférica por incisión en la cola en peces colectados por los pescadores locales que utilizan para la venta al público para el consumo humano, se colocó en un portaobjetos limpio y seco y se realizó un extendido a manera de frotis, realizando dos por cada espécimen, dejándose secar al aire, las laminillas se fijaron con unas gotas de solución de metanol-ácido acético (3:1), se dejan secar y se guardan en una caja para su transporte al laboratorio de Biología Molecular de la Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas de la UAGro para procesarlas.

Posteriormente las laminillas fueron teñidas con colorante de Giemsa durante 15 minutos, se lavaron inmediatamente con agua destilada y se dejaron secar en una gradilla para ser observadas en el microscopio. Se leen 3000 células a 1000x realizando el recuento de micronúcleos, así como también se registraron las células que presentan anomalías nucleares.

Para la realización de este estudio se capturaron 15 organismos por cada sitio de muestreo, de peces muy comunes de la laguna de Coyuca *Ariopsis guatemalensis* (cuatete) utilizando una tarraya y una panga (pequeña embarcación de madera recubierta con fibra de vidrio), para estandarizar la técnica se capturaron unos organismos de la laguna y se trasladaron a el laboratorio de Medicina Molecular de la Unidad Académica de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Guerrero y se colocaron en dos peceras de 50 litros de agua tratada, con fondo de piedra y arena, filtros de carbón activado y bombas de aire, llenas al 80% de su capacidad y a temperatura ambiente de 22°C.

La estandarización de la técnica de la prueba de micronúcleos, se realizó con estos peces que se mantuvieron en cautiverio durante 4 meses para su desintoxicación cambiándoles el agua cada dos semanas y alimentándolos a base de TetraMin

comercial (alimento para peces), además de que ocasionalmente se les alimentaba con migajas de pan, tortilla y charales.

La prueba de MN se realizó siguiendo la metodología de Fenech *et al.* (2003), la primera gota de sangre que se obtuvo con el corte de la cola se desecha y la segunda gota fue colocada en un portaobjetos seco y limpio previamente etiquetado, se realizó el extendido y se dejó secar a temperatura ambiente por 24 horas; posteriormente se fijó con metanol-ácido acético 3:1 durante 5 minutos, se lavó con agua destilada, se dejó secar a temperatura ambiente y se tiñe con Giemsa por 15 minutos; las laminillas se lavan perfectamente con agua corriente y se dejaron secar en una gradilla y posteriormente se leyeron con un microscopio óptico Zeiss Axiophot-Axiolab con el objetivo de 100x y se contabilizaron 3000 células por muestra.

Los MN fueron identificados según los criterios sugeridos por Fenech *et al.* (2003):

- Diámetro de menos de un tercio del núcleo principal.
- Los MN deberán estar separados de forma marginal o solaparse con el núcleo principal, siempre y cuando no hay una clara identificación del límite nuclear, y
- Los MN deberán tener una coloración similar a la del núcleo principal.

6.4.2 Toma de muestras para mediciones de intercambio de agua de superficie.

Las muestras de gas de superficie para registrar flujos de CO₂ y CH₄ se tomaron con una cámara cerrada de PVC montada en una plancha flotante de poliuretano (unicel). Con una jeringa de 60 mL y aguja de calibre 22 se toman 40 mL de gas, que son depositados en viales de vidrio sellados de 20 ml. La primera muestra tomada al tiempo cero (muestra inicial) y una segunda muestra tomada a los 20 minutos (muestra final). Cada una por duplicado, se envolvieron en papel aluminio y se colocaron en un recipiente cerrado en refrigeración.

Se miden los parámetros fisicoquímicos del agua con un potenciómetro marca Hach sension 156 y se mide la temperatura ambiente con un termómetro de mercurio certificado.

6.4.3 Curvas de calibración de CO₂ y CH₄

Las curvas de calibración de CO₂ y CH₄ fueron realizadas en el laboratorio de Aerosoles Atmosféricos del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM con dos estándares de concentración conocida.

Tabla 3. Concentración de CH₄ y área promedio. Fuente CCA/UNAM.

No.	Concentración CH ₄	Promedio Área
1	13.47	30.40
2	26.94	59.28
3	40.42	89.37
4	53.89	117.67
5	67.36	145.37

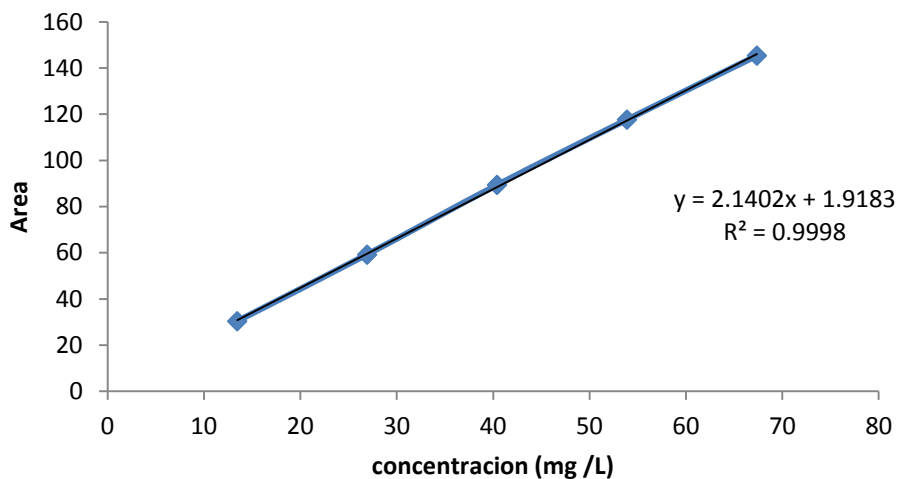


Figura 9. Curva de calibración del metano (CH₄).

Tabla 4. Concentración de CO₂ y área promedio. Fuente CCA/UNAM.

No.	Concentración CO ₂	Promedio Área
1	71.11	203.2
2	142.22	384.4
3	213.33	544.7
4	284.44	686.8
5	355.56	788.2

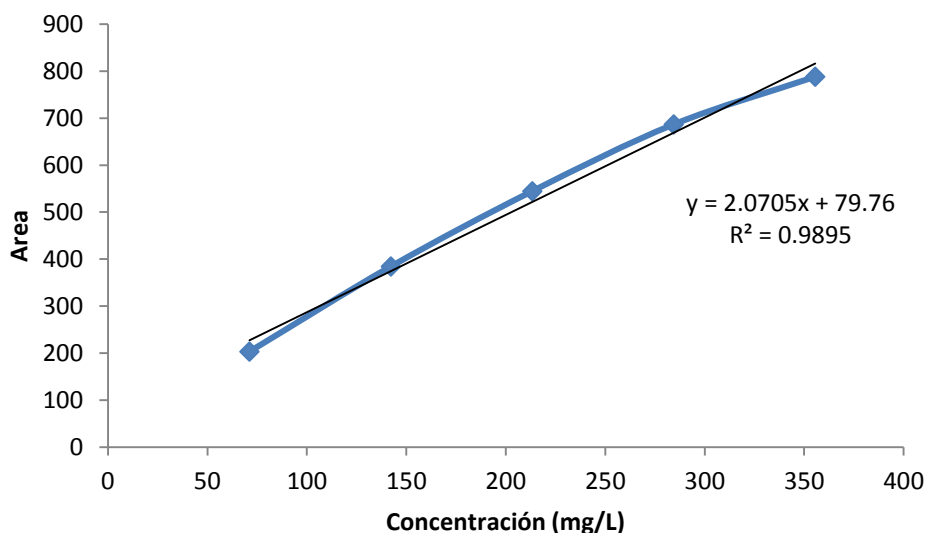


Figura 10. Curva de calibración del CO₂.

6.4.4 Mediciones de gases CO₂ y CH₄

La medición de CO₂ y CH₄ se realizaron por cromatografía de gases en el CCA/UNAM, usando un cromatógrafo de gases marca Agilent 6890 acoplado a un metanizador con detector FID (Flame Ionization Detector), una columna empacada Porapak Q de 0.32 mm de diámetro interno, 6 pies de largo con malla 80/100 x1/8 pulgadas, temperatura del metanizador (back inlet) de 375°C, temperatura del FID de 300°C, temperatura del inyector (front inlet) de 150°C, temperatura del horno de 40°C, se usó nitrógeno como gas acarreador, flujo de aire comprimido de 400 mL/min, flujo de gas catalizador del FID (H₂) de 30 mL/min. Todas las muestras fueron analizadas a una temperatura de 25°C. El tiempo de retención del CH₄ es de 1.16 minutos y de CO₂ es de 2.62 minutos.

6.4.5 Toma de muestras para mediciones de parámetros fisicoquímicos

Los muestreos se realizaron cada mes se usó un potenciómetro Marca Hach Sension 156, iniciando a las 8:00 horas en el sitio 1DRC que corresponde a la desembocadura del río de Coyuca, a las 9:00 horas en el sitio 2 LEM, a las 10:00 horas en el sitio 3 PDC, a las 11:00 horas en el sitio 4 EMB y a las 12:00 horas en el sitio 5 ZMA. Para medir la temperatura se utilizó un termómetro de mercurio de inmersión total marca WIDDER Germany, con graduación de -20 a 150°C y número de certificado 200401C01870.

De acuerdo con la NOM 014-SSA1-1993 que indica los procedimientos para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados, se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Sumergir el frasco unos 30 cm, abrir y enderezar a continuación con el cuello hacia arriba (en todos los casos debe evitarse tomar la muestra de la capa superficial o del fondo, donde puede haber nata o sedimento y en el caso de captación en cuerpos de agua superficiales, no deben tomarse muestras muy próximas a la orilla o muy distantes del punto de extracción); si existe corriente en el cuerpo de agua, la toma de muestra debe efectuarse con la boca del frasco en contracorriente. Efectuada la toma de muestra debe colocarse el tapón, sacar el frasco del agua y colocar el papel de protección.
2. Cubrir además el tapón del frasco hasta el cuello con papel aluminio para protegerlo de contaminación posterior durante su manejo.
3. Las muestras tomadas deben colocarse en hielera con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo para su transporte al laboratorio, de preferencia a una temperatura de refrigeración, entre los 4 y 10 °C, cuidando de no congelar las muestras.
4. Al coleccionar la muestra evitar contaminaciones del ambiente tales como polvo, tierra, saliva, descargas nasofaríngeas o de cualquier otra naturaleza.
5. Se debe llenar el frasco a 2/3 partes de su capacidad para permitir que las muestras se puedan homogeneizar.
6. Rotular perfectamente todas las muestras a fin de evitar confusiones posteriores.

Toda medida que se tome para acortar el tiempo comprendido entre la recolección de muestras y su análisis en el laboratorio, contribuirá notoriamente a evitar datos falsos.

7. RESULTADOS

7.1 Parámetros fisicoquímicos de la laguna de Coyuca.

Para caracterizar a este ecosistema acuático se consideraron los parámetros fisicoquímicos siguientes: temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (STD), salinidad y oxígeno disuelto (OD) y comparados con la NOM-127-SSA1-1994 (SSA, 1994) que establece la “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización” así como con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-01/89 que establece los criterios para la protección de la vida acuática de agua dulce y agua marina (SEMARNAT, 1990).

7.1.1 Temperatura del agua

La temperatura del agua de la laguna de Coyuca registró un promedio de 29.3 °C, teniendo un valor mínimo de 23°C en el mes de diciembre a las 8:00 horas en el sitio 1 (río Coyuca) y un valor máximo de 32 °C a partir de las 12:00 horas en el sitio 4 (El Embarcadero) y el sitio 5 (zona de manglar).

De acuerdo con la NMX-AA-007-SCFI-2013 para medir la temperatura del agua se extrae una muestra de un volumen de 1 L en un envase limpio de polietileno y se mide la temperatura de inmediato.

Tabla 5. Temperatura del agua de la laguna de Coyuca

Temp °C	2012												2013	
	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Promedio	
1 DRC	26	25	26	23	26	28	26	28	28	25	26	27	26.2	
2 LEM	28	29	28	27	27	30	28	30	30	28	31	28	28.7	
3 PDC	28	32	30	29	28	30	30	30	30	30	32	29	29.8	
4 EMB	29	32	30	29	29	31	31	32	32	31	32	29	30.6	
5 MAN	30	32	30	29	30	31	31	32	32	31	32	32	31.0	
	28.2	30.0	28.8	27.4	28.0	30.0	29.2	30.4	30.4	29.0	30.6	29.0	29.3	

La temperatura del agua de la laguna en promedio mensual para el mes más frío fue diciembre con 27.4 °C y la temperatura del agua más cálida fueron los meses de julio, abril y mayo con 30.6, 30.4 y el mismo valor de 30.4 °C respectivamente.

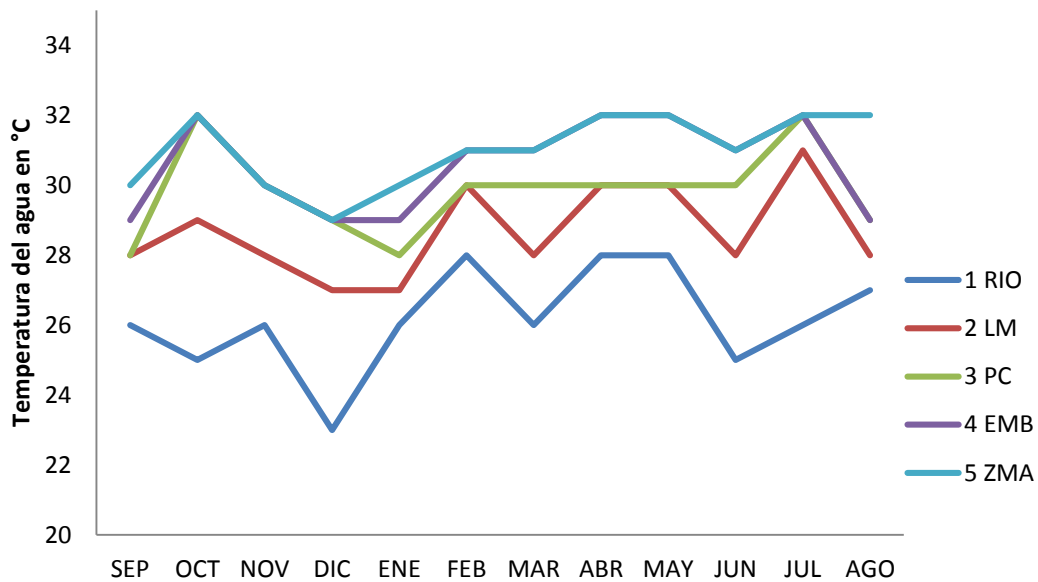


Figura 11. Temperatura del agua en °C de la laguna de Coyuca de sep. 2012 a ago. 2013.

7.1.2 pH.

Durante el periodo de estudio se midió el pH del agua de la laguna de Coyuca en los cinco sitios de muestreo observando un comportamiento ligeramente alcalino en septiembre, noviembre y mayo en el sitio 1 que corresponde a la desembocadura del río; y muy alcalino en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero en el sitio 5 Zona de Mangle con valores de 9.9, 9.9, 9.4 y 9.2 respectivamente, por encima de la NOM-127-SSA1-1994 que marca un pH para el agua de uso y consumo humano de 6.5 a 8.5.

Tabla 6. pH del agua de la laguna de Coyuca.

pH	2012						2013						Promedio
	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	
1 RIO	6.8	7.7	6.1	8.1	7.9	7.8	8.2	7.7	7.7	8.0	6.9	7.3	7.5
2 LEM	7.5	9.0	8.3	9.4	8.9	9.2	8.8	8.2	6.9	8.6	8.2	8.1	8.4
3 PDC	7.6	8.8	8.9	9.6	9.2	9.2	8.7	8.1	7.3	8.7	8.4	8.8	8.6
4 EMB	8.3	8.7	9.0	9.6	8.9	9.3	8.9	8.4	7.4	8.7	8.2	8.2	8.6
5 MAN	8.4	8.7	9.9	9.9	9.4	9.2	8.8	8.2	7.6	9.0	8.8	8.3	8.8
Promedio	7.7	8.6	8.4	9.3	8.9	8.9	8.7	8.1	7.4	8.6	8.1	8.1	8.4

El pH promedio de 7.5 del agua del río de Coyuca es ligeramente alcalino respecto al valor neutro de 7.0 y en los cuatro sitios restantes ubicados en el cuerpo lagunar se hacen mucho más alcalinos, llegando hasta un valor de 9.9 en la zona de mangle los meses de noviembre y diciembre de 2012, muy cercano al límite máximo superior indicado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece el rango permisible de potencial hidrógeno de 5 a 10 unidades.

El pH fluctúa de 8.4 a 8.8 (tabla 6) en los sitios 2, 3, 4 y 5, que se encuentran ubicados en el cuerpo de la laguna, el sitio 1 que corresponde a la desembocadura del río se separa totalmente de esos valores, lo cual nos indica que el agua se hace alcalina en la laguna.

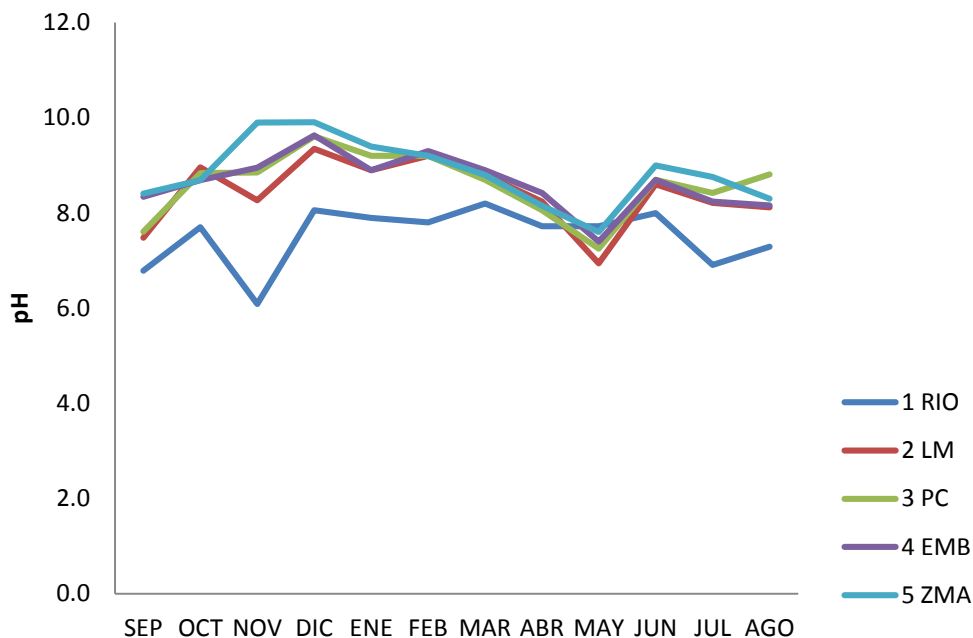


Figura 12. pH del agua de la laguna de Coyuca de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

7.1.3 Conductividad Eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

La conductividad eléctrica medida en la laguna de Coyuca en el periodo de estudio muestra los valores más bajos en el sitio denominado desembocadura del río y valores más altos en el resto de la laguna, ello depende de la cantidad de sales disueltas en el agua.

Tabla 7. Conductividad eléctrica del agua de la laguna de Coyuca.

Cond. Elec en $\mu\text{s}/\text{cm}$	2012											2013	Promedio
	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	
1 RIO	56.2	62.4	73.1	143	128	639	620	625	630	69	76.6	92.1	267.87
2 LEM	2490	2760	3220	3750	2640	2490	2470	2820	4140	2731	3930	3910	3112.58
3 PDC	2320	2740	3190	4100	2260	2300	2500	2870	3970	3980	4010	3930	3180.83
4 EMB	2350	2810	3220	4080	2280	2700	2500	2880	4010	4000	3990	3840	3221.67
5 MAN	2540	3180	3490	3910	2420	2250	2450	2820	4200	4100	3890	3710	3246.67
	1951	2310	2639	3197	1946	2076	2108	2403	3390	2976	3179	3096	2605.92

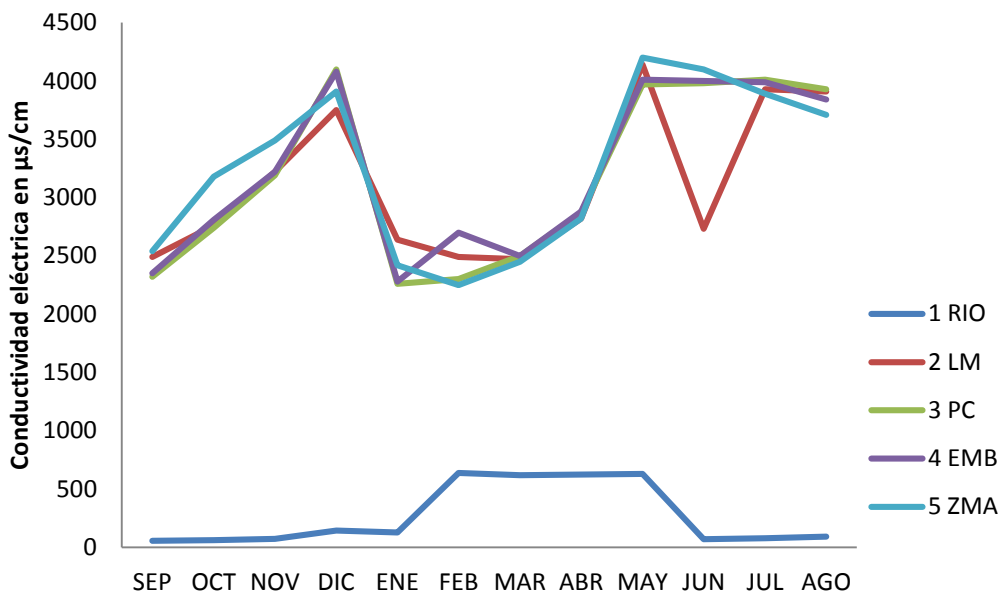


Figura 13. Conductividad eléctrica del agua de la laguna de Coyuca en µs/cm de sep. /2012 a ago. /2013.

7.1.4 Sólidos Disueltos Totales (TDS en mg/L)

Los Sólidos Disueltos Totales en la laguna de Coyuca se encuentran en los 1740 mg/L y solo en la desembocadura del río Coyuca tiene valores bajos, con un promedio de 133.6 mg/L. Estos TDS se encuentran directamente relacionados con la Conductividad Eléctrica. Los TDS comprenden las sales inorgánicas (calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua.

Tabla 8. Sólidos Totales Disueltos en mg/L en la laguna de Coyuca

TDS en mg/L	2012												Promedio
	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	
1 RIO	29.4	32.7	38.4	68.3	64	319	310	305	321	36	36.2	43.6	133.63
2 LEM	1407	1572	1848	1873	1647	1296	1396	1617	2720	1373	2040	2020	1734.08
3 PDC	1283	1557	1827	1969	1650	1313	1413	1650	1890	1920	2085	2040	1716.42
4 EMB	1419	1623	1843	1904	1620	1317	1417	1640	2040	2050	2070	1986	1744.08
5 MAN	1392	1822	2000	1856	1690	1284	1384	1680	2160	2080	2020	1918	1773.83
	1106	1321	1511	1534	1334	1106	1184	1378	1826	1492	1650	1602	1420.41

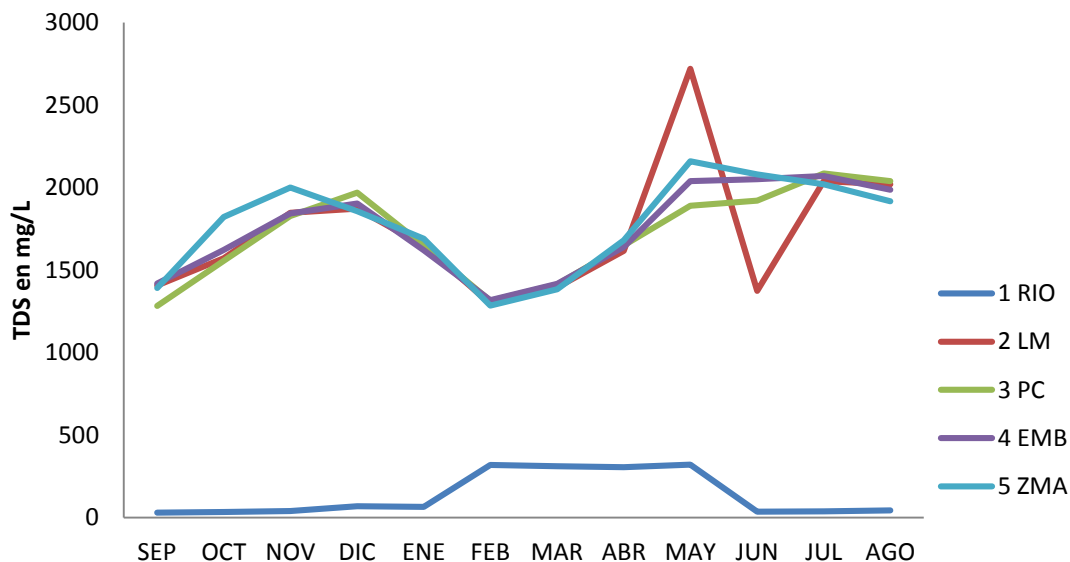


Figura 14. Sólidos Totales Disueltos en mg/L en la laguna de Coyuca de sep. /2012 a ago. /2013.

7.1.5 Salinidad

La salinidad de la laguna de Coyuca presentó valores de 0.1% en el sitio 1 la desembocadura del río Coyuca y de 1.8% en el resto del cuerpo lagunar debido a la intrusión salina del mar a través de la barra de arena que separa el mar de la laguna y especialmente cuando se “abre la barra” y hay corrientes de agua de mar hacia la laguna.

Tabla 9. Salinidad de la laguna de Coyuca

% de salinidad	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Promedio
1 RIO	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1
2 LEM	1.4	1.6	1.9	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	2.4	2.2	2.1	2.0	1.8
3 PDC	1.3	1.6	1.8	2.0	1.5	1.2	1.3	1.6	2.4	2.2	2.1	2.1	1.8
4 EMB	1.4	1.6	1.9	1.9	1.6	1.4	1.6	1.3	2.4	2.1	2.1	2.0	1.8
5 MAN	1.4	1.6	2.0	1.9	1.7	1.3	1.4	1.6	2.4	2.0	2.0	1.9	1.8
	1.1	1.3	1.5	1.5	1.3	1.1	1.2	1.2	2.0	1.7	1.7	1.6	1.4

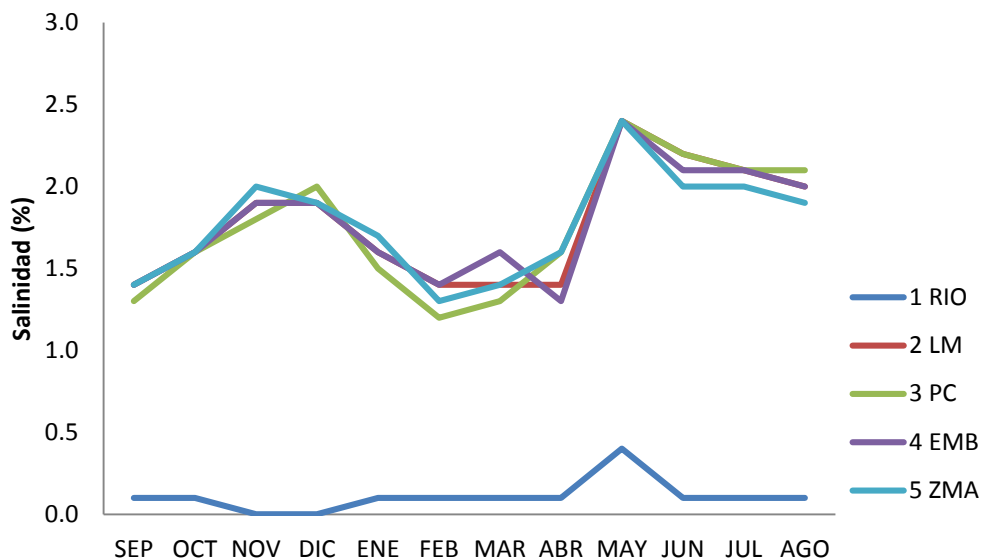


Figura 15. Salinidad de la laguna de Coyuca de sep. /2012 a ago. /2013.

7.1.6 Oxígeno Disuelto

La determinación de OD se realizó por el método Winkler (método 8215 Hach) ver anexo para la metodología. El oxígeno disuelto medido en la laguna de Coyuca muestra valores entre 4.28 y 8.86 mg/L, con un promedio de 7,18 mg/L de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

Tabla 10. Oxígeno Disuelto de la laguna de Coyuca

Oxígeno disuelto en mg/L	2012			2013		Promedio
	SEP	NOV	DIC	AGO	Promedio	
1 RIO	6.78	8.08	8.66	7.13	7.66	
2 LEM	6.48	8.23	6.22	5.60	6.63	
3 PDC	4.28	9.88	7.16	8.86	7.55	
4 EMB	8.24	9.12	5.88	5.20	7.11	
5 MAN	5.40	7.54	7.66	7.24	6.96	
Promedio	6.24	8.57	7.12	6.81	7.18	

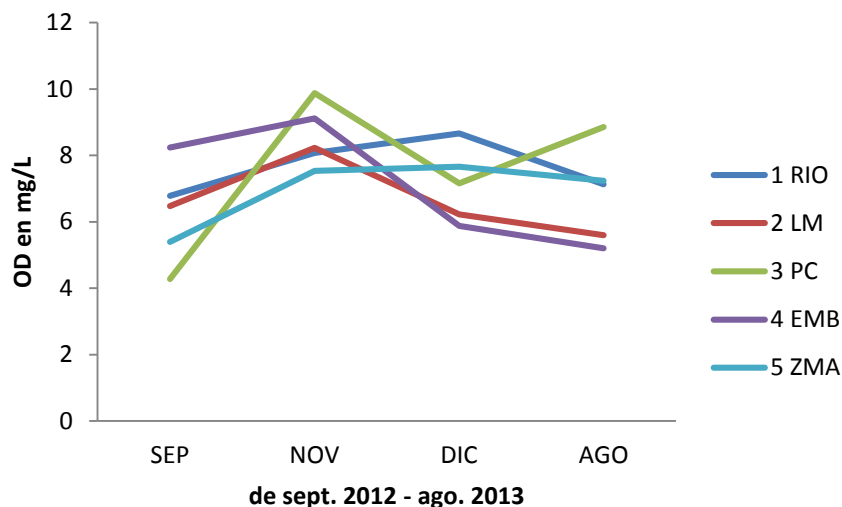


Figura 16. Variación del oxígeno disuelto del agua de la laguna de Coyuca.

El valor más altos de OD el agua de la laguna de Coyuca se registró en el mes de noviembre y el valor más bajo el mes de septiembre (tabla 10), también observamos que el sitio 3 PC mostró mayor variación con valores que van desde 4.28 a 9.88 mg/L.

7.2 Emisión y captura de CH₄ por cromatografía de gases

Se establecieron 5 sitios de muestreo en la laguna de Coyuca considerando el río del mismo nombre por ser el principal afluente y el de mayor importancia del ecosistema, la zona turística de Pie de la Cuesta, los sitios de pesca como Luces en el Mar y El Embarcadero y un sitio con abundancia de vegetación, la zona de mangle, conocida como El Infiernillo por los pobladores.

El cromatógrafo Agilent 1890 proporciona el área bajo la curva del metano y para obtener la concentración se utilizó la ecuación de la recta $y=mx + b$ ($y = 2.1402x + 1.9183$), en donde y es el área bajo la curva y x es la concentración en mg/L (Figura 9).

Tabla 11. Emisión/Captura de CH₄ en mg/L en la laguna de Coyuca.

	sep- 2012	oct- 2012	nov- 2012	dic- 2012	ene- 2013	feb- 2013	mar- 2013	abr- 2013	may- 2013	jun- 2013	jul- 2013	ago- 2013	Promedio
Sitio 1													
DRC	6.2	11.0	0.7	3.8	1.5	7.2	8.8	7.8	1.9	3.1	246.6	203.1	41.8
Sitio 2													
LEM	3.1	0.2	-0.3	2.2	0.5	1.0	-0.3	0.2	0.0	-1.5	-0.9	8.6	1.1
Sitio 3													
PDC	9.1	5.6	2.9	-1.4	0.0	1.3	2.8	5.0	16.6	-3.2	0.5	0.8	3.3
Sitio 4													
EMB	3.3	39.6	26.2	0.0	0.7	218.7	3.7	20.4	1.9	0.7	413.7	-1.4	60.6
Sitio 5													
MAN	171.1	30.5	34.3	0.1	3.3	3.9	146.2	9.1	107.9	26.5	110.5	39.3	56.9
	38.5	17.4	12.8	0.9	1.2	46.4	32.3	8.5	25.7	5.1	154.1	50.1	32.7 mg/L

El promedio de los 5 sitios de estudio de emisión de metano de la laguna de Coyuca fue de 32.7 mg/L, registrándose valores más elevados en los sitios del margen que se encuentre al Este de la laguna; como El Embarcadero y el sitio denominado zona de mangle.

Los valores más bajos de emisión de metano se encontraron en Luces en el Mar y Pie de la Cuesta, que son sitios que se localizan en el margen de la barra de arena que separa a la laguna del mar.

Los valores positivos se refieren a la emisión de CH₄ y los valores negativos se refieren a la captura del gas en el ecosistema. La oxidación de metano, ocurre en presencia moderada de oxígeno (oxidación aerobia) y en ausencia de oxígeno (oxidación anaerobia). La primera, se produce por bacterias de los géneros *Methylococcus*, *Methylomonas* y por las bacterias nitrificantes, como *Nitrosomaonas europea* y *Nitrosococcus oceanus*. Las bacterias que oxidan el CH₄ son llamadas bacterias metanotróficas y son abundantes en la columna de agua y en la interfase aeróbica del sedimento (Hernández, 2010).

De la tabla 11 se obtiene la figura 17, que da los flujos de metano en los 5 sitios de estudio en doce meses, de septiembre de 2012 al mes de agosto de 2013.

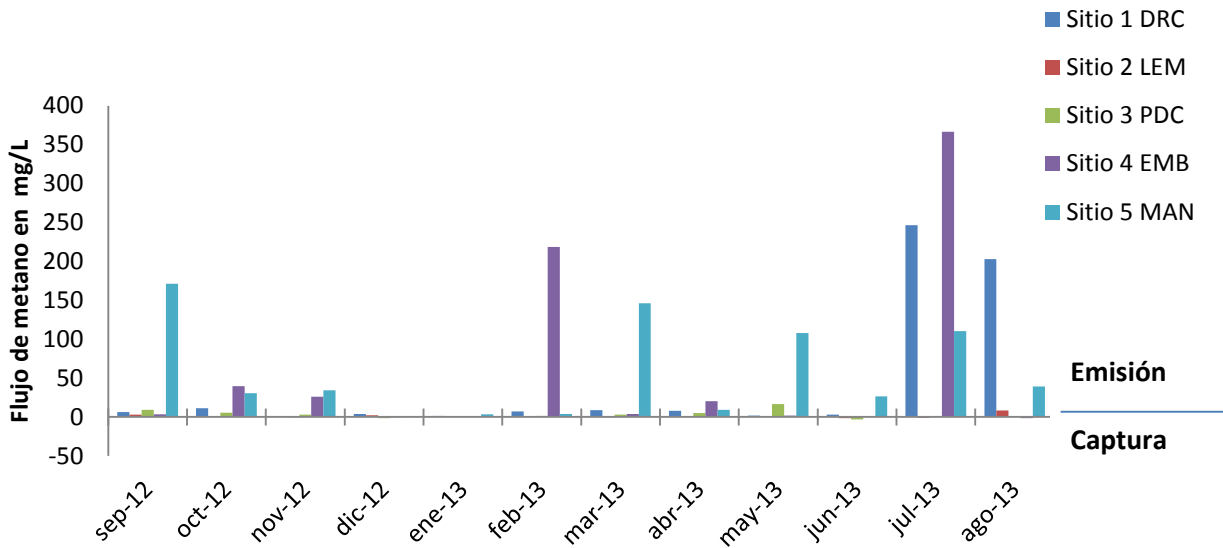


Figura 17. Flujos de CH₄ en mg/L de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

Los meses de julio, agosto, septiembre, febrero y marzo son los de mayor flujo de metano en la laguna de Coyuca en tanto que diciembre, enero y febrero son los de menor flujo de metano.

Con estos datos, podemos afirmar que la laguna de Coyuca se comporta esencialmente como un cuerpo emisor de metano a la atmósfera. Particularmente el sitio 4 EMB que corresponde a El Embarcadero y el sitio 5 MAN que corresponde a la zona de mangle. Ambos sitios se encuentran ubicados en la parte este de la laguna, en donde las corrientes de agua arrastran materia orgánica hacia el fondo del cuerpo de agua propiciando la descomposición anaeróbica y la actividad metanogénica de las bacterias en el sustrato acuático.

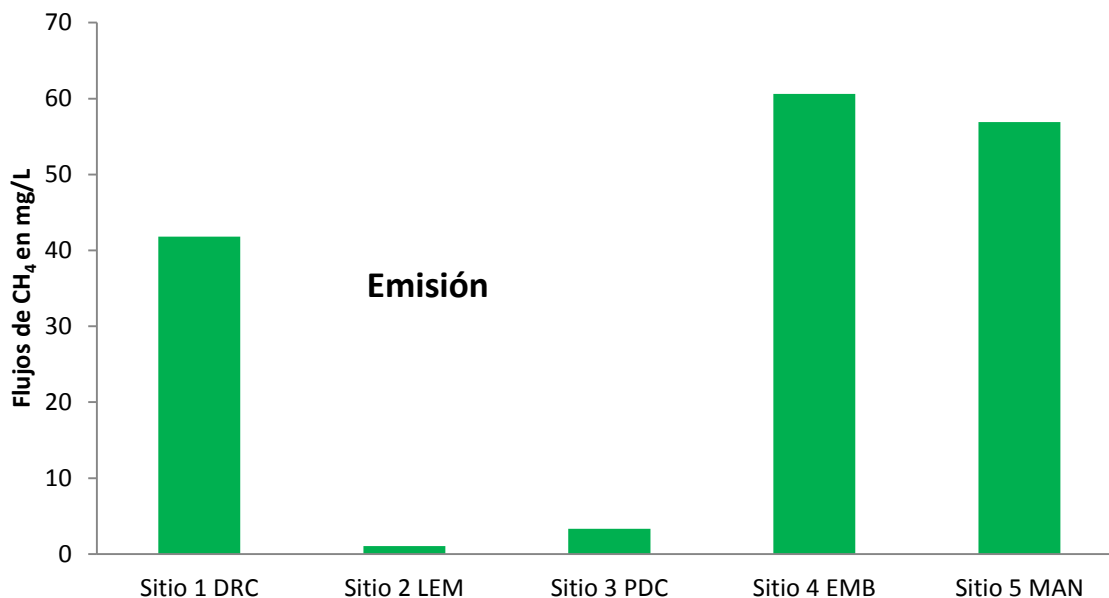


Figura 18. Promedio mensual del flujo de CH₄ de septiembre de 2012 a agosto de 2013 por sitio de estudio de la laguna de Coyuca.

La figura 18 muestran que el sitio 4 (El Embarcadero) y el sitio 5 (Zona de mangle) son los dos sitios que presentaron el nivel más alto de emisión de metano a lo largo del año de estudio. El sitio 1 (desembocadura del río de Coyuca) el cual se encontró en tercer lugar y el sitio 2 (Luces en el Mar) y el sitio 3 (Pie de la Cuesta) fueron los sitios que presentaron una menor emisión de metano a la atmósfera, con valores de 1.1 y 1.3 mg/L respectivamente, mucho menores que el promedio anual que es de 32.7 mg/L, ésta condición se presenta por el hecho que el sustrato subacuático en estos sitios mencionados es predominantemente arenoso con escasa materia orgánica.

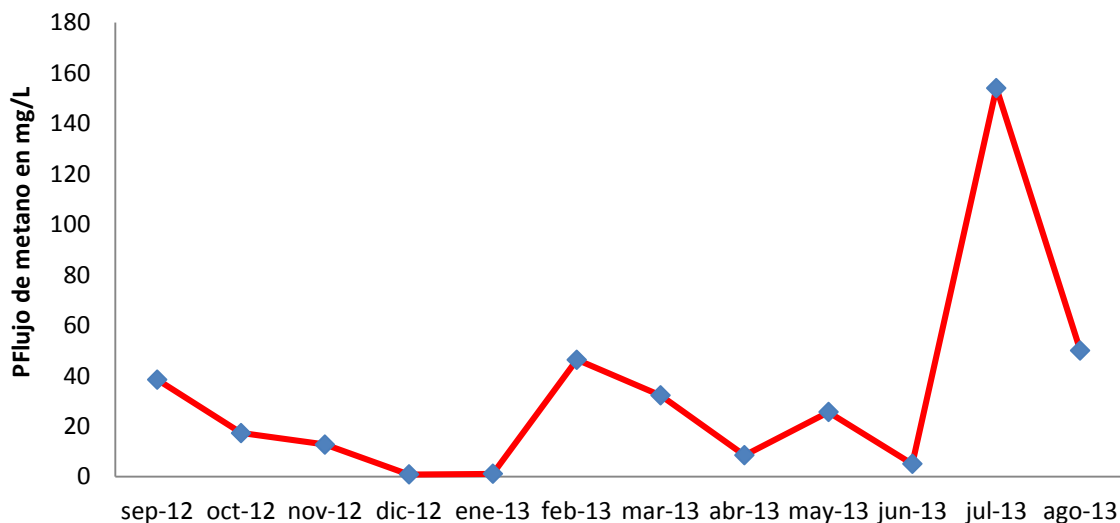


Figura 19. Promedio mensual del flujo de CH₄ de septiembre de 2012 a agosto de 2013 por mes de estudio de la laguna de Coyuca.

La figura 19 nos muestra de manera lineal el comportamiento de emisión de CH₄, observamos que el flujo se incrementa durante los meses de lluvias julio, agosto, septiembre y febrero y marzo en periodo de secas.

7.3 Emisión y captura de CO₂ por cromatografía de gases

El segundo gas que se estudió en el presente trabajo, fue el dióxido de carbono (CO₂), los valores de las áreas obtenidas de la lectura del cromatógrafo Agilent 1890 se usan para obtener la concentración de las muestras inicial y la muestra final utilizando la ecuación de la recta para el CO₂ que es $y = 1.7803x + 139.6$ (figura 10) de la curva de calibración del CO₂ calculada en el laboratorio de Aerosoles Atmosféricos del CCA-UNAM en donde y es el área bajo la curva y x es la concentración de CO₂ en mg/L en los 5 sitios de muestreo (tabla 6).

Tabla 12. Emisión/Captura de CO₂ en mg/L en 5 sitios de la laguna de Coyuca.

	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-12	jun-13	jul-13	ago-13	Promedio
Sitio 1 DRC	-124.9	138.1	12.9	151.7	45.5	362.2	240.3	98.9	129.9	77.3	235.0	113.4	123.4
Sitio 2 LEM	115.9	-74.4	14.0	56.9	-9.5	209.7	84.9	74.3	2.4	-151.7	279.7	79.3	56.8
Sitio 3 PDC	1.6	28.4	-69.7	-116.2	-1.6	-56.4	72.2	177.2	-19.7	-35.7	339.2	-228.7	7.6
Sitio 4 EMB	35.8	10.8	-44.4	-63.5	-0.4	-47.2	-166.5	-216.4	11.5	56.7	43.0	288.6	-7.7
Sitio 5 MAN	113.6	49.9	-20.8	97.5	4.5	-207.9	139.0	-73.6	23.5	434.9	132.9	47.3	61.7
	28.4	30.6	-21.6	25.3	7.7	52.1	74.0	12.1	29.5	76.3	205.9	60.0	48.4

El promedio del flujo de dióxido de carbono en el periodo de septiembre de 2012 al mes de agosto de 2013 fue de 48.4 mg/L en la laguna de Coyuca. Registrándose el valor promedio más alto en el mes de julio de 2013 con 205.9 mg/L de emisión y el único valor promedio de captura en el mes de noviembre de 2012 con -21.6 mg/L.

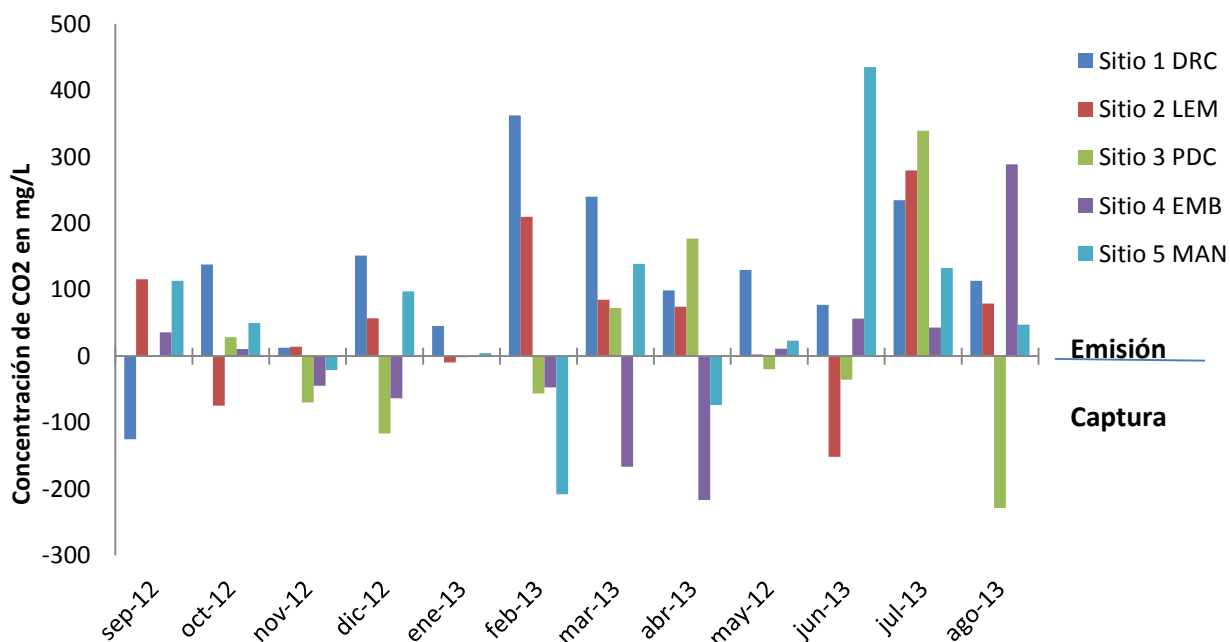


Figura 20. Flujos de CO₂ de sep. 2012 al mes de ago. 2013 en 5 sitios de la laguna de Coyuca.

Encontramos que existe una mayor emisión de CO₂ en la mayoría de los sitios de estudio, particularmente en los meses de julio y agosto de 2013 en donde solo el sitio 3 Pie de la cuesta observó un comportamiento de captura en el mes de agosto con un valor de -228.7 mg/L. Durante el resto de los meses de estudio observamos un patrón de emisión y captura.

Los valores positivos indican emisión de CO₂ a la atmósfera y los valores negativos indican captura de CO₂ por el ecosistema. Se han estimado productividades primarias altas en algunos humedales naturales de las zonas tropicales comparadas con otro tipo de ecosistemas como selvas y bosques tropicales (Hernández, 2010).

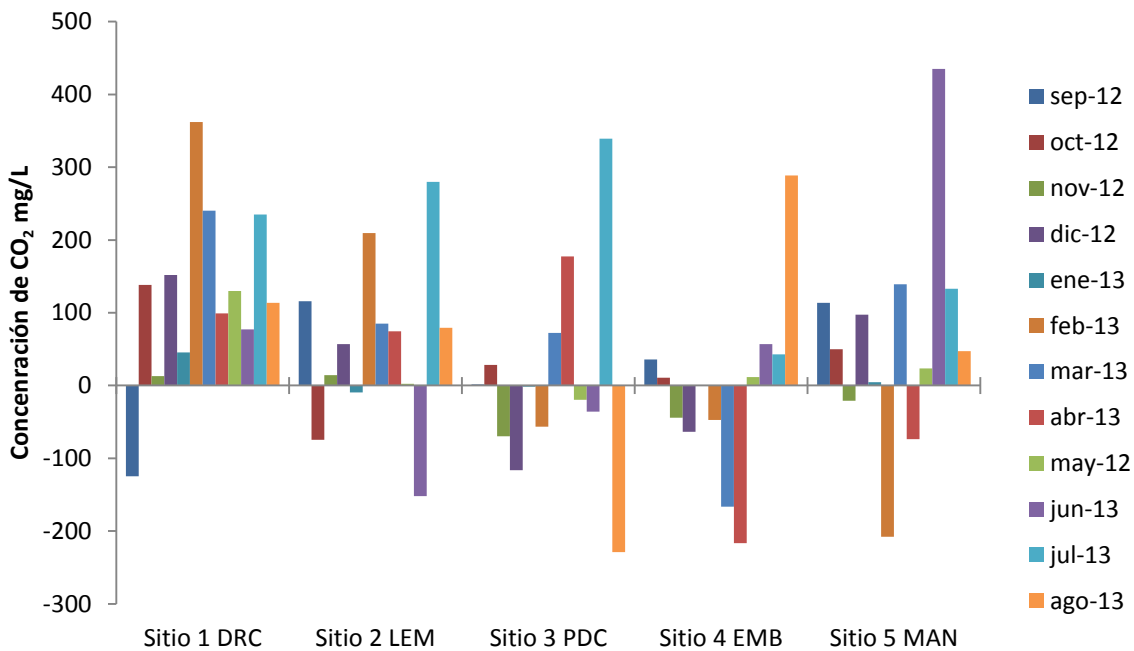


Figura 21. Flujos de CO₂ de sep. 2012 al mes de ago. 2013 en 5 sitios de la laguna de Coyuca.

Se encontró que todos los sitios de estudio presentaron emisión y captura de CO₂ de manera consistente, solo el sitio 1 que corresponde a la desembocadura del río

presentó un patrón general de emisión de CO₂ exceptuando el mes de septiembre en el cual presentó captura del gas con un valor de -124.19 mg/L.

El valor más alto de CO₂ se registró en el sitio 5 MAN, en el mes de junio con valor de 434.9 mg/L y el valor más alto de captura corresponde al sitio 3 Pie de la Cuesta con un valor de -228.7mg/L.

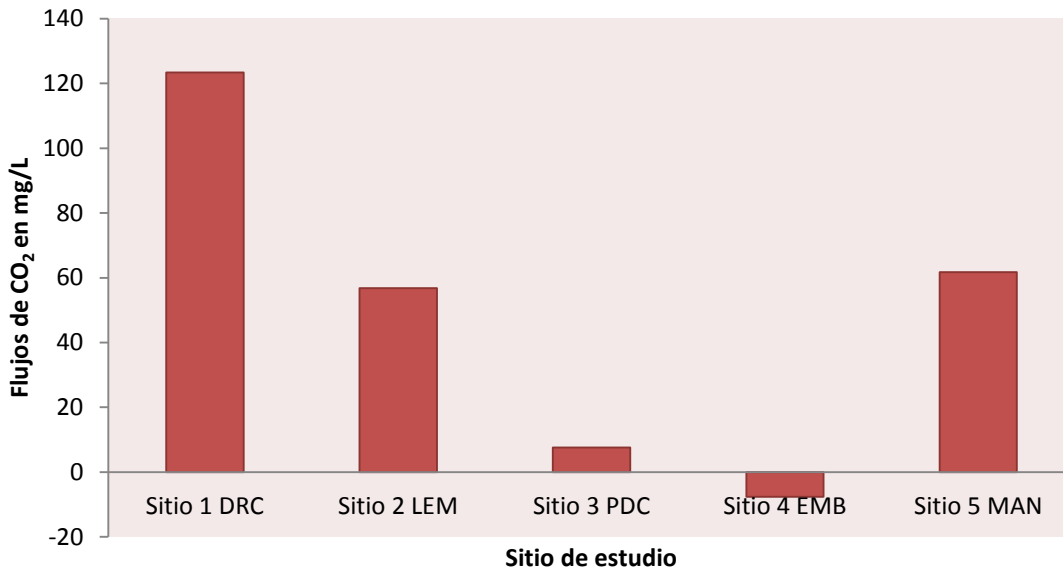


Figura 22. Flujos de CO₂ de sep. 2012 al mes de ago. 2013 en 5 sitios de la laguna de Coyuca.

La figura 22 nos indica que el sitio 1 (desembocadura del río) registró mayor emisión de CO₂ a la atmósfera con 123.4 mg/L, seguido del sitio 5 (mangle) y el sitio 2 (Luces en el Mar) con 61.7 y 56.8mg/L respectivamente; el sitio 3 (Pie de la Cuesta) presenta un valor de emisión mínimo de 7.57 mg/L y únicamente el sitio 4 (El Embarcadero) tiene un comportamiento de captura en promedio con un valor de -7.66 mg/L.

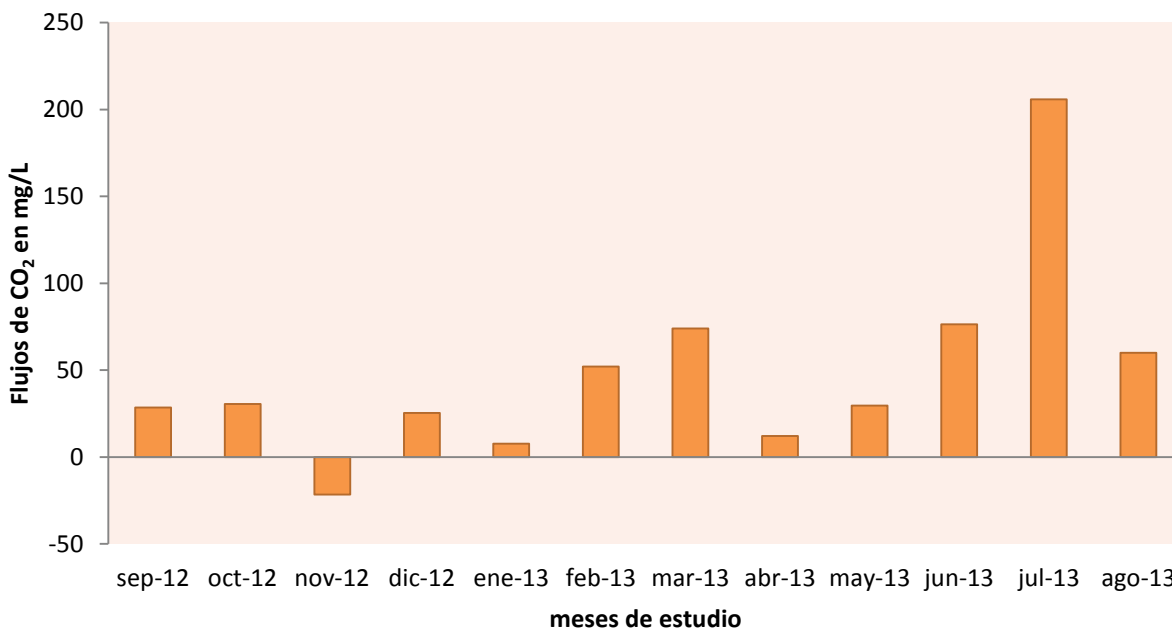


Figura 23. Flujos de CO₂ de sep. 2012 al mes de ago. 2013 en 5 sitios de la laguna de Coyuca.

La figura 23 nos muestra el comportamiento promedio del ecosistema lagunar el cual se presentó como un emisor de CO₂ en todos los meses del año, excepto en el mes de noviembre que se comportó como fijador de CO₂. En el mes de julio encontramos en promedio el flujo de CO₂ más alto de 205.9 mg/L y el valor más bajo en enero con 7.67 mg/L.

De la misma manera encontramos que solo el mes de noviembre ocurre la captura de CO₂ en el ecosistema con valor escaso de -21.57 mg/L.

7.4 Flujos de CH₄ y CO₂ en mg/m²/h.

Un parámetro muy utilizado para comparar el comportamiento del CH₄ y CO₂ en diversos estudios en ecosistemas acuáticos y terrestres es comparar los flujos en miligramos por metro cuadrado por hora, el intercambio de gases entre agua y atmósfera se estimó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo} = (C_f - C_i) \times \text{Volumen} / \text{Tiempo} \times \text{Área}$$

Donde **Cf** es la concentración final y **Ci** la inicial, el volumen 200 microlitros, tiempo 20 minutos y el área corresponden a la cámara. Se consideró que hay captura de gases cuando la diferencia de concentraciones fue negativa y emisión cuando fue positiva (Mendoza *et al.*, 2013).

Tabla 13. Flujos de CH₄ en mg/m²/h

	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	Promedio
Sitio 1 DRC	0.0626	0.1110	0.0071	0.0386	0.0151	0.0722	0.0887	0.0783	0.0193	0.0316	2.4830	2.0446	0.4210
Sitio 2 LEM	0.0310	0.0019	-0.0033	0.0221	0.0047	0.0100	-0.0031	0.0022	0.0005	-0.0151	-0.0095	0.0861	0.0106
Sitio 3 PDC	0.0913	0.0564	0.0296	-0.0146	0.0000	0.0133	0.0287	0.0507	0.1675	-0.0326	0.0054	0.0079	0.0336
Sitio 4 EMB	0.0329	0.3984	0.2634	-0.0005	0.0071	2.2015	0.0377	0.2053	0.0188	0.0070	4.1651	-0.0137	0.6103
Sitio 5 MAN	1.7226	0.3067	0.3453	0.0014	0.0329	0.0392	1.4720	0.0917	1.0865	0.2672	1.1125	0.3961	0.5728
Prom	0.3881	0.1749	0.1284	0.0094	0.0119	0.4672	0.3248	0.0856	0.2585	0.0516	1.5513	0.5042	0.3297

Encontramos que durante el periodo de lluvias es cuando el ecosistema lagunar se encuentra en proceso de emisión de CH₄ ya que son los meses en los cuales se registraron los valores más altos; con valores de 1.55 mg/m²/h durante el mes de julio y 0.50 mg/m²/h en agosto; seguido muy de cerca en los meses de febrero, septiembre y marzo con 0.47, 0.39 y 0.32 mg/m²/h respectivamente y el sitio 4 EMB y el sitio 5 son los mayores emisores de CH₄ (tabla 13, figura 24).

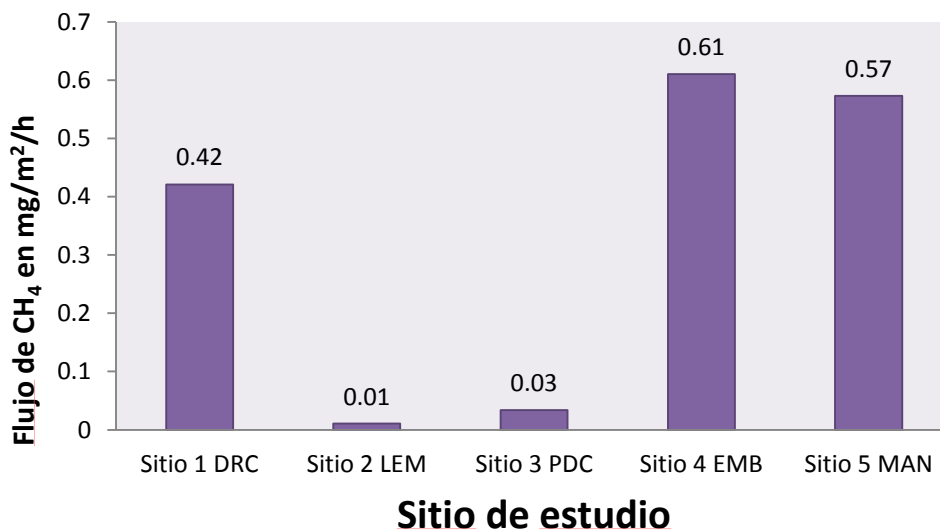


Figura 24. Flujos de CH₄ en mg/m²/h por sitio de estudio

Debemos considerar que julio, agosto y septiembre son meses lluviosos y que en el mes de febrero ocurrieron lluvias ocasionales durante el transcurso de este estudio. Los meses de diciembre y enero fueron donde se registró la menor emisión de CH₄ con valores de 0.0094 y 0.0119 mg/m²/h respectivamente seguido de los meses de junio y abril con valores de emisión de 0.0516 y 0.0856 mg/m²/h respectivamente; en donde diciembre, enero y abril son meses de secas y solo el mes de junio es de lluvias (figura 25).

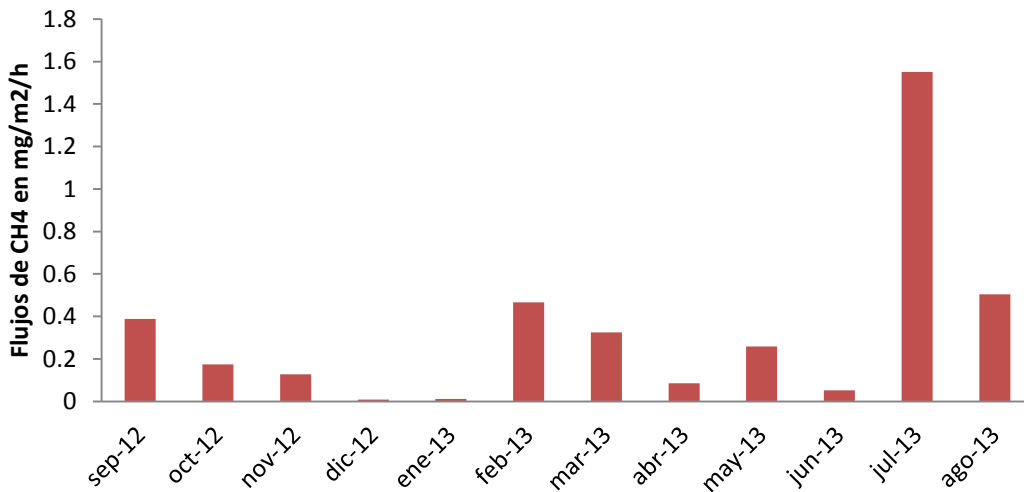


Figura 25. Flujos de CH₄ en mg/m²/h por mes de estudio.

En cuanto a los valores obtenidos de la emisión de CH₄ de la laguna de Coyuca por sitio de estudio, el promedio fue de 0.3297 mg/m²/h y encontramos que el sitio 4 (El Embarcadero), el sitio 5 (zona de mangle) y el sitio 1 (desembocadura del río) fueron los sitios de mayor emisión con valores promedio de 0.6103, 0.5728 y 0.4210 mg/m²/h respectivamente; bastante lejanos de los valores de 0.0336 y 0.0106 del sitio 3 (Pie de la Cuesta) y el sitio 2 (Luces en el Mar) respectivamente.

Los flujos de CO₂ obtenidos se muestran en la tabla 14 por sitio de estudio y los promedios mensuales. De esta manera encontramos que en general existe mayor emisión que captura del CO₂ en la laguna de Coyuca a lo largo del periodo de estudio.

Tabla 14. Flujos de CO₂ en mg/m²/h de la laguna de Coyouca.

	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	Promedio
Sitio 1													
DRC	-1.2570	1.3899	0.13006	1.5268	0.458	3.6463	2.4191	0.9959	1.3079	0.77843	2.3653	1.142	1.2419
Sitio 2													
LEM	1.16714	-0.7487	0.14137	0.5728	-0.096	2.1106	0.85495	0.7478	0.0243	-1.5277	2.8154	0.7978	0.5716
Sitio 3													
PDC	0.0164	0.28613	-0.7012	-1.17	-0.016	-0.5677	0.72711	1.7839	-0.198	-0.359	3.4152	-2.302	0.0762
Sitio 4													
EMB	0.36077	0.10914	-0.4467	-0.639	-0.005	-0.4747	-1.6759	-2.179	0.1154	0.57096	0.4327	2.9055	-0.077
Sitio 5													
MAN	1.14339	0.50271	-0.2092	0.9817	0.0452	-2.0933	1.39922	-0.741	0.2364	4.37846	1.3376	0.476	0.6214
Promedio	0.28613	0.30784	-0.2171	0.2545	0.0772	0.5242	0.74489	0.1215	0.2972	0.76824	2.0732	0.6039	0.4868

En los meses de julio, junio, marzo, agosto y febrero son los meses donde el ecosistema emite la mayor cantidad de CO₂ a la atmósfera con valores de 2.07, 0.768, 0.744, 0.604 y 0.524 mg/m²/h respectivamente (tabla 14); en donde podemos observar que tres meses corresponden al periodo de lluvias, junio, julio y agosto y dos meses corresponden al periodo de secas febrero y marzo; aunque debemos mencionar que durante el mes de febrero se presentaron lluvias ocasionales.

Encontramos que abril y enero son los meses en los cuales encontramos los valores promedio más bajos de emisión 0.1215 y 0.0772 mg/m²/h respectivamente, ambos meses del periodo de secas. Asimismo encontramos que solo durante el mes de noviembre hubo captura de CO₂ con un valor de - 0.2171 mg/m²/h (figura 26).

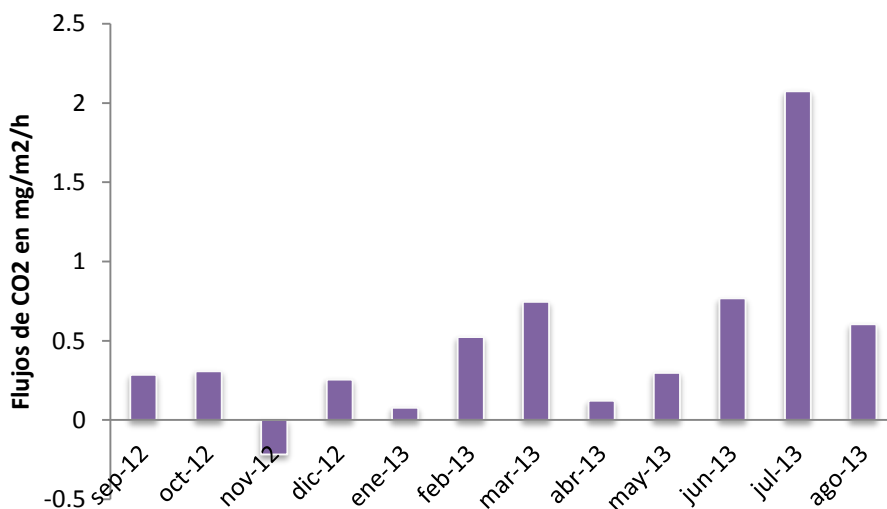


Figura 26. Flujos de CO₂ en mg/m²/h por mes de estudio

El estudio muestra también que el sitio 1 DRC es el lugar donde se reporta la mayor emisión de CO₂ con un valor de 1.2419 mg/m²/h, seguido del sitio 5 MAN y el sitio 2 LEM con valores de 0.6214 y 0.5716 mg/m²/h; el sitio 3 PDC reporta menor emisión 0.0762 mg/m²/h y solamente encontramos un sitio que captura carbono, el sitio 4 EMB con valor de -0.077 mg/m²/h, como se muestra en la figura 27.

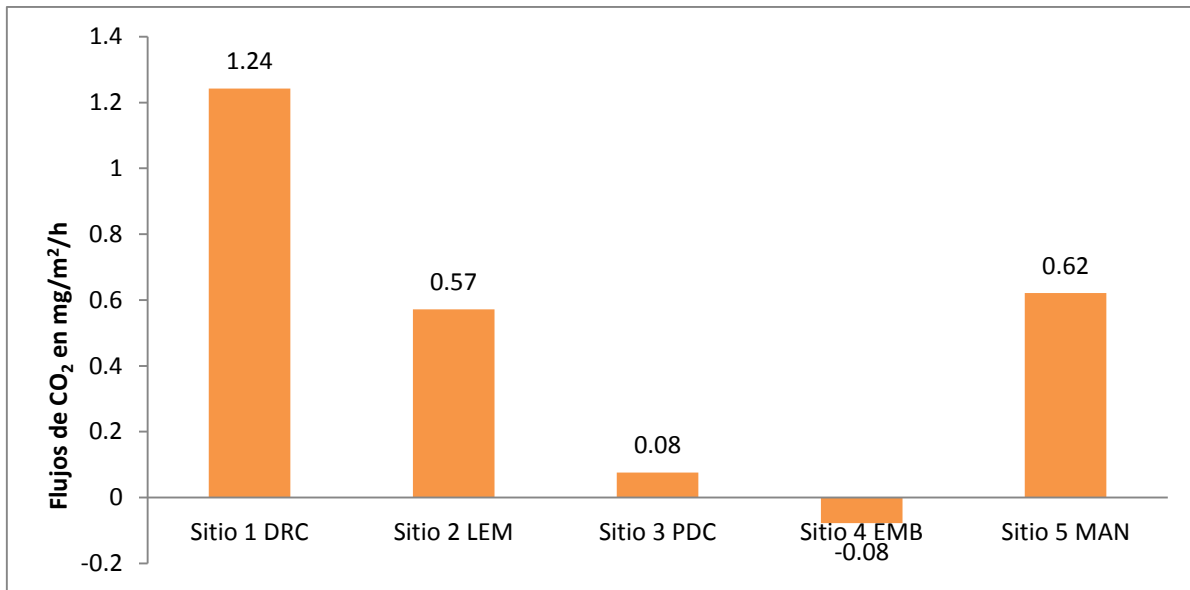


Figura 27. Flujos de CO₂ en mg/m²/h por sitio de estudio

7.5 Frecuencia de MN y anomalías nucleares

El muestreo para la prueba de MN se realizó durante los meses de enero y febrero del año 2012 en *Ariopsis guatemalensis* (cuatete) capturados en la laguna de Cuyuca. Fueron analizadas 2000 células por espécimen y se encontraron anomalías en el 1.15% de los casos, a su vez fue más frecuente cariorexis 37.99%, seguido de cariolisis con 36.70%, huevo roto 7.46%, micronúcleos 6.21%, células binucleadas 6.05% y en menor proporción puente nucleoplásmico 5.59%, (figuras 28 y 29) lo que sugiere la presencia de agentes genotóxicos y otros contaminantes.

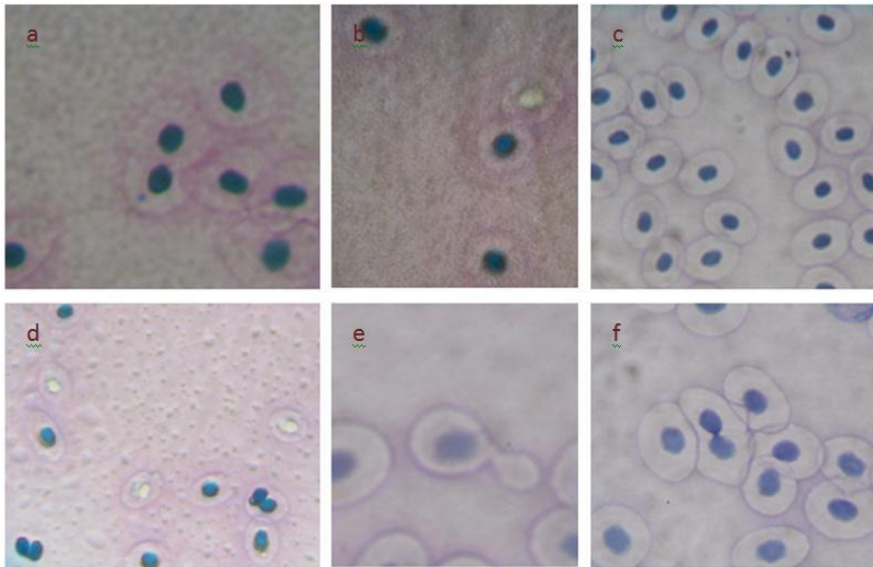


Figura 28. a,c) células con micronúcleos, b,d) células con cariólisis, d) células binucleadas, e) célula con puente citoplasmático, f) célula con puente nucleoplásmico.

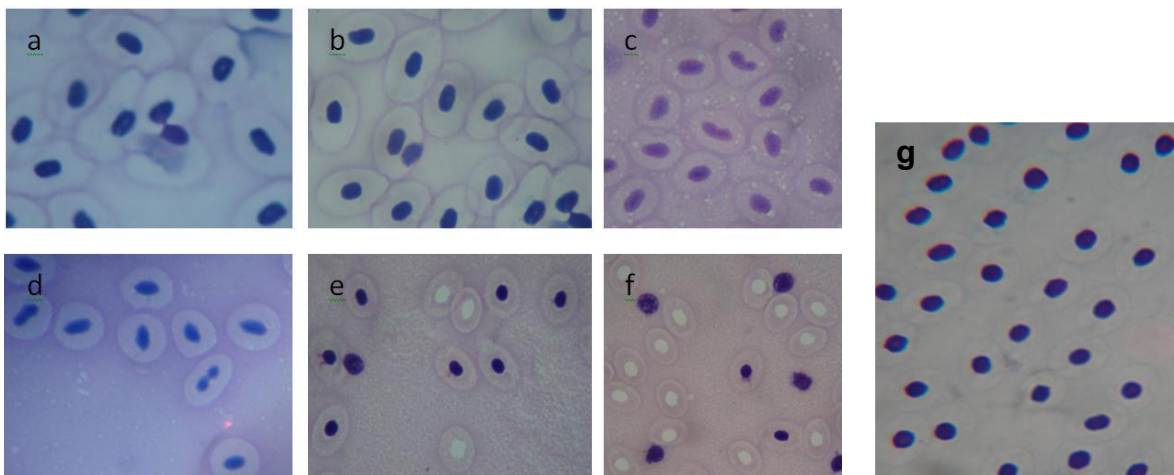


Figura 29. a,d) células con puente nucleoplásmico, b,d) células binucleadas, c) deformidad del núcleo e,f) células con cariólisis, g) célula control.

En la zona de la desembocadura del río Coyuca del total de células observadas en las muestras, se obtuvieron los siguientes resultados a) células normales 99.18%, b) micronúcleos 0.04% y c) anomalidades nucleares 0.73% que se muestran de la

siguiente manera: binucleadas 0.01%, huevo roto 0.06%, cariolisis 0.23%, carriorexis 0.34% y puente nucleoplásmico 0.03%.

En lo referente a la zona de mangle se encontró que el 99.01% corresponde a células normales, micronúcleos 0.06% y el 0.9% de células con anomalías nucleares y de las cuáles son binucleadas 0.06%, huevo roto 0.06%, cariolisis 0.34%, carriorexis 0.42% y puente nucleoplásmico 0.05%.

En El Embarcadero el 98.57% presentaron células normales, micronúcleos 0.09% y células con anomalías nucleares el 1.43 correspondiendo a binucleadas 0.05%, huevo roto 0.14%, cariolisis 0.50%, cariorrexis 0.59% y puente nucleoplásmico 0.06%.

En Pie de la Cuesta se encontró un 99.09% de células normales, 0.10% de micronúcleos y el 0.91% de células con anomalías nucleares donde el 0.15% son binucleadas, 0.14% de huevo roto, 0.22% cariolisis, 0.19% cariorrexis y 0.11% con puente nucleoplásmico.

En la zona de Luces en el Mar, la relación fue la siguiente: células normales 98.90% micronúcleos 0.04% y células con anomalías nucleares el 1.1% de las cuáles son binucleadas 0.06%, huevo roto 0.03%, cariolisis 0.47%, cariorrexis 0.43% y puente nucleoplásmico 0.08%.

La anomalía que se observó con mayor frecuencia en estos organismos fue cariorrexis la cual se caracteriza por la ruptura o descomposición del núcleo celular en partes, en el cuál la cromatina se desintegra en gránulos deformes que son expulsados de la célula, seguida de cariolisis que se identifica por la ausencia o desaparición de su núcleo (eritrocitos fantasma).

De acuerdo a los resultados obtenidos, el sitio donde se presentó el mayor número de afectación en las células en la especie en estudio fue la zona de El Embarcadero seguida de Luces en el Mar, zona de mangle, Pie de la Cuesta y la desembocadura del río respectivamente.

Tabla 15. Anormalidades celulares en eritrocitos de *Ariopsis guatemalensis* de la laguna de Coyuca.

	Río de Coyuca	Luces en el Mar	Pie de la Cuesta	El Embarcadero	Zona de mangle	Total
Micronúcleos	16	16	45	42	28	147
Binucleada	5	25	68	22	25	145
Huevo roto	26	15	61	61	27	190
Cariólisis	102	212	98	223	154	789
Cariorrexis	154	194	86	267	189	890
P. nucleoplásmico	12	34	51	27	24	148
Total	315	496	409	642	447	2309

La tabla 16 muestra el porcentaje de anormalidades celulares de *Ariopsis guatemalensis* en la laguna de Coyuca.

Tabla 16. Porcentaje de la frecuencia de MN y otras anormalidades celulares de *Ariopsis guatemalensis* en la laguna de Coyuca.

	Río de Coyuca	Luces en el Mar	Pie de la Cuesta	El Embarcadero	Zona de mangle	Total
Micronúcleos	0.04	0.04	0.10	0.09	0.06	0.33
Binucleada	0.01	0.06	0.15	0.05	0.06	0.32
Huevo roto	0.06	0.03	0.14	0.14	0.06	0.42
Cariólisis	0.23	0.47	0.22	0.50	0.34	1.75
Cariorrexis	0.34	0.43	0.19	0.59	0.42	1.98
P. nucleoplasmico	0.03	0.08	0.11	0.06	0.05	0.33
total	0.70	1.10	0.91	1.43	0.99	5.13

En el grupo control (peces en cautiverio) no se observaron anormalidades nucleares como puede verse en la figura donde la mayoría se observan como células normales y solo algunas con picnosis por un proceso de muerte celular.

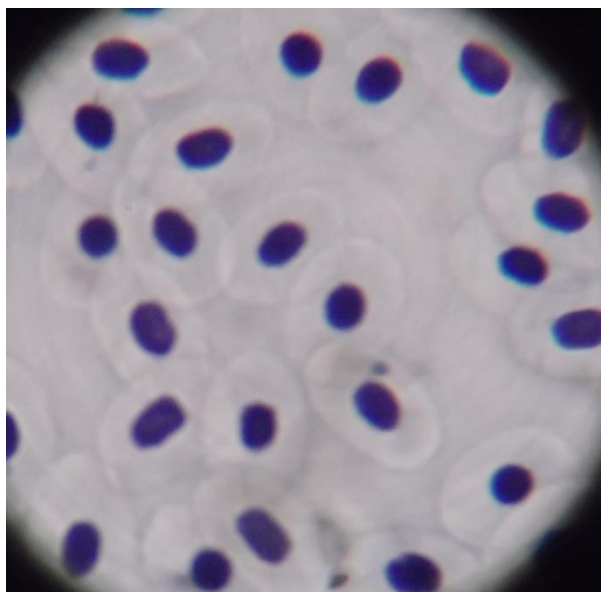


Figura 30. Células del grupo control con núcleos normales. 1000x

Esta afectación a la fauna acuática de la laguna de Coyuca muestran la vulnerabilidad de las especies y los ecosistemas frente al uso indiscriminado de productos químicos sintéticos en el medio ambiente particularmente los utilizados en la agricultura.

Encontramos que los peces de la laguna de Coyuca se encuentran afectados por la contaminación del agua que es una de las vías a través de las cuales se transportan los plaguicidas aguas abajo de los lugares donde fueron aplicados (Molina *et al.* 2012).

Actualmente, los peligros que acarrea el uso inadecuado de agroquímicos sintéticos comprometen la sostenibilidad de la agricultura moderna; en este contexto, los países en desarrollo son los más afectados debido a que el incremento de la producción agrícola va acompañado de un acelerado deterioro de los recursos naturales (Benítez y Miranda, 2013).

8. DISCUSIÓN

8.1 Parámetros fisicoquímicos de la laguna de Coyuca.

El valor promedio de 29.3 °C obtenido en el presente estudio coincide con el valor de 29 ± 2.6 °C reportado por Valencia *et al.* (2011) y cercano del valor de 30.42 °C reportado por Ávila (2014) para la misma laguna costera y también para las lagunas de Chautengo de 29.7 ± 1.7 °C y la laguna de Tres Palos 30.5 ± 1.1 (Mendoza *et al.*, 2013).

El valor promedio de pH de 8.4 contrasta con los valores de entre 6 y 8 reportados por López (1986) y de 7.4 en promedio reportado por Ramírez (1988) y de 6.5 reportado por Castillo (2010) y es más concordante con el valor reportado por Tovilla-Hernández (2009) de 8.8 para la laguna de Coyuca y el mismo valor de 8.4 obtenido por Valencia *et al.* (2011).

Los valores de pH altos o bajos son tóxicos para los organismos acuáticos, ya sea directamente o indirectamente. Es el parámetro más importante utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático (NMX-AA-008-SCFI-2011).

Si consideramos solamente el pH de los sitios ubicados en el cuerpo de la laguna el promedio es de 8.6, valor muy cercano a los valores reportados por Mendoza *et al.* (2013) de 8.2 y 8.8 para las lagunas de Chautengo y Tres Palos respectivamente.

La presencia de concentraciones altas de Sólidos Totales Disueltos (superiores a 1200 mg/L) puede resultar desagradable para el consumo humano, en tanto que concentraciones bajas también puede ser inaceptable debido a su falta de sabor.

Para el oxígeno disuelto se encontró un valor promedio de 7.18 mg/L, Valencia *et al.* (2011) reportó 5.0 mg/L para la misma laguna, en tanto que Castillo (2010) obtuvo 4.97 mg/L. Espinosa (2011) encuentra para la laguna de Bojórquez en el estado de Quintana Roo valores bajos de 4.1 y muy bajos de 2.51, por lo que se puede afirmar que el cuerpo receptor de agua que se estudia posee una cantidad adecuada de oxígeno disuelto de acuerdo a los criterios ecológicos CE-CCA-001/89 de calidad del

agua para la protección de la vida acuática, ello debido preponderantemente a la actividad fotosintética de las microalgas presentes.

8.2 Emisión/captura de CH₄ y CO₂

Los muestreos se realizaron mensualmente de septiembre de 2012 a agosto de 2013 y se incluyeron los meses de lluvias y de secas, para observar el comportamiento anual del ecosistema costero lagunar de Coyuca en el estado de Guerrero.

De manera general este ecosistema se comporta como un emisor de CH₄, donde particularmente se incrementa durante los meses de julio, agosto y septiembre y disminuyendo significativamente los meses de diciembre y enero con 0.9 y 1.2 mg/L respectivamente.

Por sitio de estudio encontramos que el sitio 4 EMB y el sitio 5 MAN son los que mayor emisión de CH₄ presentaron con 60.6 y 56.9 mg/L respectivamente y en tercer lugar el sitio 1DRC con 41.8 mg/L.

Un estudio similar realizado por Mendoza *et al.* (2013) en las lagunas de Chautengo y de Tres Palos en el estado de Guerrero reportan valores en agua de superficie para el CH₄ de 13 a 21 ppm y de 39 a 56 ppm respectivamente. Dado que el valor promedio obtenido para la laguna de Coyuca es de 32.7 mg/L podemos afirmar que el comportamiento de emisión de esta laguna se encuentra en la parte media entre las dos lagunas anteriormente mencionadas, Chautengo y Tres Palos.

Arah y Stephen (1998) encontraron que se producen grandes concentraciones de CH₄ en los humedales que contienen materia orgánica acumulada en el suelo, en ese sentido los suelos de los trópicos y de los humedales su producción puede llegar a ser del 24% de la producción anual de CH₄ (Allen *et al.*, 2007).

Otro estudio realizado en 2006 sobre la emisión de metano en la vegetación forestal en Venezuela encontraron que la emisión de CH₄ fue de al menos 1.78 ppmv, valor que se incrementó en comparación con el valor de 1.67 ppmv para el año de 1988, lo cual indica que es una gran fuente tropical de metano (Crutzen *et al.*, 2006).

Ortiz y Álvarez (2012) afirman que existe una gran variabilidad en las emisiones de metano, que no parecen seguir un patrón climático o latitudinal, aunque sí se aprecian

variaciones estacionales. Los máximos de emisión se han detectado cuando aumenta la temperatura del suelo y disminuye el nivel de agua, cuando tiene lugar un incremento en la actividad de las bacterias productoras de metano. El hecho de que no se observe una relación lineal entre la emisión de metano y la temperatura del suelo a escala mundial, sugiere que las condiciones locales son muy importantes en el control de las emisiones de metano.

En nuestro caso encontramos que la emisión de metano aumenta precisamente en los meses de lluvias, cuando la cantidad de agua es mayor en el cuerpo receptor de agua.

De acuerdo a estos datos el promedio anual de la emisión de CH₄ de la laguna de Coyuca es de 0.3297 mg/m²/h, valor que se encuentra dentro del rango de 0 a 93 mg/m²/h reportado en un estudio sobre un humedal construido en la República Checa (Picek *et al.* 2007).

Ortiz y Álvarez (2012) realizaron una revisión de la literatura de los datos cuantitativos entre sistemas en las emisiones de metano relacionadas con picos de emisiones (PE) y emisiones anuales (AE) en cinco tipos de ecosistemas: estuarios, lagos, océanos, ríos y humedales. PE abarcó ocho órdenes de magnitud (0,015 microg CH₄ m⁻² h⁻¹-300 mg CH₄ m⁻² h⁻¹), mientras que AE abarcó siete (0,078 a 19.044 g CH₄ m⁻² año⁻¹).

Mendoza *et al.* (2013) reporta valores de emisión de CH₄ de 0.0135 mg/m²/h para la laguna de Chautengo y 1.95 mg/m²/h para la laguna de Tres Palos. Este estudio encontró que el promedio de emisión/captura de CH₄ para la lagunal de Coyuca es de 0.33 mg/m²/h, es decir muestra un comportamiento intermedio entre ambas lagunas mencionadas.

De acuerdo a los resultados de emisión de CH₄, el sitio 2 y el sitio 3 los cuales se encuentran del lado Este de la laguna que da al mar por lo que el fondo está formado por arena presentaron una menor emisión, en tanto que el sitio 1, el sitio 4 y el sitio 5 los cuales se encuentran del lado Oeste de la laguna, en donde el fondo es muy fangoso debido a que la cantidad de materia orgánica que las lluvias arrastran hacia el fondo de la laguna es mayor, presentaron una mayor emisión de CH₄.

El valor promedio de emisión de CH₄ de la laguna de Coyuca (0.3297 mg/m²/h) se encuentra en concordancia con los valores reportados por Cheng *et al.* (2007) quienes estudiaron las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de un humedal construido

(mesocosmos) plantado con *Alterniflora S.* y *Phragmites australis*, el experimento se llevó a cabo en la universidad de Fudan, en Shanghai China, entre abril y octubre, 2004, los gases se midieron en el mismo horario (8:00 a 10:00 am.), las muestras se recolectaron en cámara cerrada, en rangos de tiempo (0, 10, 20, 30 y 40) minutos. En este estudio se obtuvieron valores que van desde 0,16 a 1,12 mg m⁻² h⁻¹ CH₄. Como se muestra en la figura 27 por sitio de estudio.

Por otro lado, con respecto a los flujos de CO₂, el sitio 1 (DRC) y el sitio 5 (MAN) se comportan como emisores de CO₂ a la atmósfera, en tanto que el sitio 3 (PDC) y 4 (EMB) actúan como receptores de CO₂, mientras que el sitio 2 (LEM) mantiene un equilibrio entre la emisión/captura del CO₂ durante los meses de estudio que comprende el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

El promedio anual de emisión de CO₂ de la laguna de Coyuca es de 0.4868 mg/m²/h, en donde encontramos valores de emisión (positivos) y valores de captura (negativos). Debido a la actividad respiratoria de las especies acuáticas animales se produce CO₂ y la captura se debe principalmente a la actividad fotosintética de las microalgas presentes en el ambiente acuático del ecosistema.

Picek *et al.* (2007) encontraron valores de emisión de CO₂ de 4 a 309 mg/m²/h para un humedal construido con flujo subsuperficial horizontal plantado con *Phragmites australis*. El sistema trata las aguas residuales municipales de 100 habitantes que se encuentra en el sur de Bohemia, República Checa y se muestrearon de junio a octubre de 2004.

Aunque la desembocadura del río de Coyuca es el sitio donde encontramos mayor emisor de CO₂ a la atmósfera con 1.24 mg/m²/h, se encuentra por debajo de los valores reportados por Picek *et al.* (2007) que encontraron valores de emisión de CO₂ de 4 a 309 mg/m²/h en la República Checa.

Mendoza *et al.* (2013) reporta valores de emisión de CO₂ para la laguna de Chautengo de 1.05 mg/m²/h y para la laguna de Tres Palos 0.045 mg/m²/h y este estudio encontró un valor promedio anual de emisión/captura de 0.49 mg/m²/h en la laguna de Coyuca.

Debemos mencionar que la emisión del gas depende entre otros factores de manera importante a la respiración de las especies animales cuyo hábitat natural es el agua y el

sustrato subacuático; y la captura depende principalmente a las actividades fotosintéticas de la flora y microflora que ahí habita.

8.3 Frecuencia de Mn y anomalías nucleares

Pie de la Cuesta fue el sitio de muestreo donde la frecuencia de micronúcleos fue mayor en comparación a los otros cuatro con 0.1% de MN, seguido de El Embarcadero con 0.09% de MN; en estos lugares se desarrollan de manera fundamental actividad recreativas en el primer caso y pesqueras para el segundo caso. El fondo en estos lugares de la laguna es demasiado fangoso debido a que las corrientes de agua fluyen hacia estos sitios y ahí se estancan arrastrando consigo una gran cantidad de sedimentos y materia orgánica.

La presencia de micronúcleos puede ser el efecto del daño acumulado por contaminantes presentes en este cuerpo de agua, ya que son formados por lesiones cromosómicas por lo que son considerados biomarcadores de efecto, su presencia puede indicar decremento en la eficiencia de reparación del ADN e incremento en la inestabilidad del genoma.

Esta baja ocurrencia de células micronucleadas en peces puede deberse a que ciertas especies de peces pueden desarrollar una cinética de eliminación de células o el desarrollo de mecanismos adaptativos de tolerancia a estrés químico que promueve un incremento en la tasa de reposición de células muertas o dañadas para mantener condiciones normales fisiológicas o de inhibición de la división nuclear que se requiere para la expresión de los micronúcleos (Bolognesi y Hayashi, 2011).

En el sitio 3 EMB predominó la cariorrexis seguida de cariólisis las cuales son evidentes en células sometidas a necrosis, una forma de muerte celular que ocurre después del daño por agentes que causan gran perturbación en el ambiente celular, aunque también acompañan fases tempranas de muerte celular por apoptosis.

La frecuencia de ambos procesos son muy cercanas y probablemente se debe a la relación que existe entre ellas, la cariólisis es usualmente antecedida por la cariorrexis y ocurre principalmente como resultado de la necrosis. Se sabe además que la necrosis

no solo puede ser causada por agentes genotóxicos, sino también por privación de oxígeno, agentes físicos, reacciones inmunológicas, agentes infecciosos e incluso la desnutrición.

La alta frecuencia de daño celular en estos organismos puede deberse también a la elevada capacidad para acumular xenobióticos, a sus hábitos alimenticios, por lo que los valores reportados en este trabajo pueden ser atribuidos a la diversidad de contaminantes que se desconocen presentes en los sitios de estudio ya que son diversas las actividades que se realizan en esas zonas y sus alrededores y este ecosistema es un receptor de diversos afluentes.

De continuar expuestos a mayores cantidades de diversos tóxicos, existe la posibilidad de una disminución de los organismos de esta especie, que puede servir como marcador biológico para la vigilancia de los niveles de contaminantes en este ecosistema del pacífico tropical.

En un estudio realizado por Pollo *et al.* (2012) reporta una frecuencia de micronúcleos de 0.16% y 3.12% de anomalías nucleares en eritrocitos de tres especies ícticas del lago urbano Villa Dálcar, ubicado al oeste de Argentina.

Aunque la presencia espontánea de micronúcleos en peces es rara, se han reportado estudios con tasas de eritrocitos con MN espontáneos entre 6.2 y 13.7 por 1000 eritrocitos de *Rhamdia quelen*, *Cyprinus carpio*, *Hipostomus punctatus* y *Oreochromis niloticus* (Salvagni *et al.*, 2011).

8.4 Análisis de Componentes Principales (ACP).

Para los valores obtenidos en los 12 meses (de septiembre 2012 a agosto 2013) y en cinco sitios de estudio de la laguna de Coyuca, se calcularon los estadísticos descriptivos (*Media y desviación típica*) de las siete variables, CH₄, CO₂, Temperatura, pH, Salinidad, Conductividad Eléctrica, Sólidos Disueltos Totales.

Tabla 17. Estadísticos descriptivos para 7 variables

	Media	Desviación típica
CH ₄	32.75	75.84
CO ₂	48.36	136.52
TEMP	29.25	2.14
PH	8.41	.79
SALINIDAD	1.44	.74
CONDUCELEC	2605.92	1336.27
SOLIDISUELTOT	1420.41	706.45

Para determinar la relación de las variables ambientales con la emisión y/o captura de CO₂ y CH₄ se aplicó un análisis de multivariado de datos con la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP); el análisis se efectúa con una matriz de correlaciones con la finalidad de obtener n componentes ortogonales que permitan la mejor interpretación de la relación entre variables.

Las rutinas estadísticas del ACP consistieron en: 1) Obtención de una matriz de correlaciones bivariadas y su determinante; 2) Revisión de la adecuación de la muestra y comprobación de que la matriz de correlaciones no es una matriz identidad, aplicando los estadísticos Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett, respectivamente; 3) Varianza total explicada (modelo), varianza explicada por variable (comunalidades), número de componentes extraídos, y saturación de las variables en los componentes.

Tabla 18. Matriz de correlaciones para 7 variables.

	CH4	CO2	TEMP	PH	SALINIDAD	CONDUCELEC	SOLIDISUELTOT	
Correlación	CH4	1.000	.109	.165	-.122	-.047	-.031	-.061
	CO2	.109	1.000	-.128	-.198	-.211	-.133	-.168
	TEMP	.165	-.128	1.000	.329	.699	.715	.728
	PH	-.122	-.198	.329	1.000	.434	.457	.460
	SALINIDAD	-.047	-.211	.699	.434	1.000	.971	.971
	CONDUCELEC	-.031	-.133	.715	.457	.971	1.000	.976
	SOLIDISUELTOT	-.061	-.168	.728	.460	.971	.976	1.000
Sig. (Unilateral)	CH4		.203	.103	.176	.362	.406	.321
	CO2	.203		.166	.065	.053	.156	.100
	TEMP	.103	.166		.005	.000	.000	.000
	PH	.176	.065	.005		.000	.000	.000
	SALINIDAD	.362	.053	.000	.000		.000	.000
	CONDUCELEC	.406	.156	.000	.000	.000		.000
	SOLIDISUELTOT	.321	.100	.000	.000	.000	.000	

a. Determinante = .001

A partir del ACP realizado con siete variables (CH₄, CO₂, temperatura, pH, salinidad, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales), se observó que de 21 valores de correlación bivariada calculados, un total de 11 fueron significativos ($P \leq 0.05$), presentándose en una escala de -0.211 a 0.976, donde la relación salinidad-CO₂ presentó la mayor asociación negativa y sólidos disueltos totales-conductividad eléctrica la mayor asociación positiva. El valor del determinante fue de 0.001, sugiriendo linealidad entre variables.

KMO y prueba de Bartlett

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.	.82
Chi-cuadrado aproximado	417.19
Prueba de esfericidad de Bartlett	21
Sig.	.00

El estadístico Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) presentó un valor de 0.816, lo que representa un valor alto, por lo que el tamaño de la muestra puede ser considerado como aceptable dado que se trató de 60 observaciones o registros por parámetro. La prueba

de Esfericidad de Bartlett resultó significativa ($X^2=417.193$, $g.l.=21$; $P=0.0$), confirmando la relación lineal entre variables. Con respecto a las Comunalidades o cantidad total de varianza explicada por cada variable, la menor corresponde al CO₂ con 0.37 y la mayor corresponde a los sólidos disueltos totales con 0.95, la conductividad eléctrica con 0.94 y la salinidad con 0.93; ello es comprensible dado que es un cuerpo receptor de agua continental y además con influencia marina.

Comunalidades

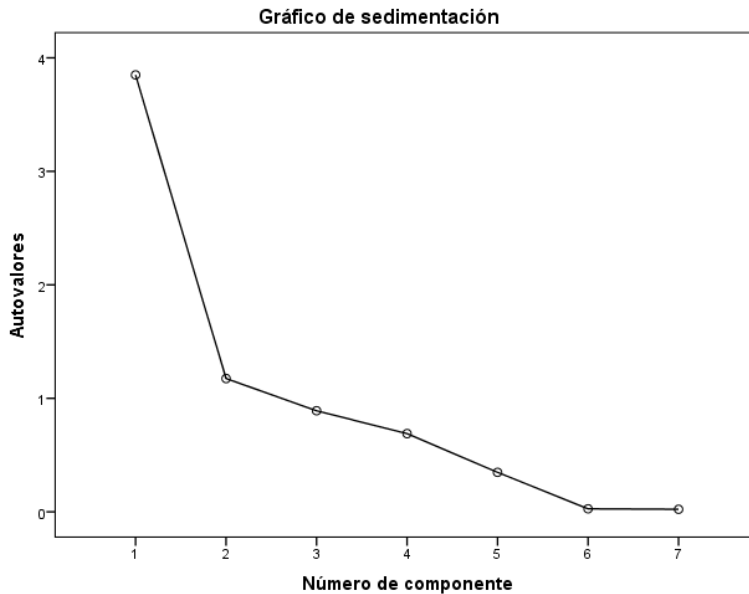
	Inicial	Extracción
CH ₄	1.000	.670
CO ₂	1.000	.374
TEMP	1.000	.727
PH	1.000	.433
SALINIDAD	1.000	.931
CONDUCELEC	1.000	.941
SOLIDISUELTOT	1.000	.949

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Con respecto a la saturación de cada variable en la matriz de componentes se extrajeron 2 componentes con una varianza total explicada de 71.77 %, donde el primer componente aportó un 53.71 % y el segundo componente el 18.06 % como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Varianza total explicada

Compo nente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumula do	Total	% de la varianza	% acumula do	Total	% de la varianza	% acumula do
1	3.85	54.99	54.99	3.85	54.99	54.99	3.76	53.71	53.71
2	1.18	16.78	71.77	1.18	16.78	71.77	1.26	18.06	71.77
3	.89	12.72	84.49						
4	.69	9.84	94.33						
5	.35	4.97	99.30						
6	.03	.38	99.68						
7	.02	.32	100.00						



En el gráfico de sedimentación se observó un cambio notable en la pendiente de la línea de tendencia de las 7 variables a partir del segundo componente, lo cual confirma la extracción de 2 componentes.

Matriz de componentes^a

	Componente	
	1	2
CH4	-.035	.818
CO2	-.251	.558
TEMP	.803	.285
PH	.571	-.327
SALINIDAD	.965	.024
CONDUCELEC	.967	.071
SOLIDISUELTOT	.973	.035

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

a. 2 componentes extraídos

El primer componente recibió el nombre de “temperatura y su influencia en los sólidos totales disueltos”, en el cual saturaron las variables temperatura, pH, salinidad, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. De esta manera se observó que la temperatura fue la variable preponderante sobre la salinidad, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales y en menor medida sobre el pH. De esta manera se observa que a un incremento de la temperatura se registra un incremento del pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad.

Al segundo componente se le denominó “gases de efecto invernadero y acidificación” y saturaron el CH₄ y el CO₂ con una influencia importante de la variable pH. Debemos notar que el pH es una variable que saturó en los dos componentes, lo que nos indicaría que se encuentra relacionada de manera inversamente proporcional con la producción de metano (CH₄) y con la producción de dióxido de carbono (CO₂) en la laguna de Coyuca.

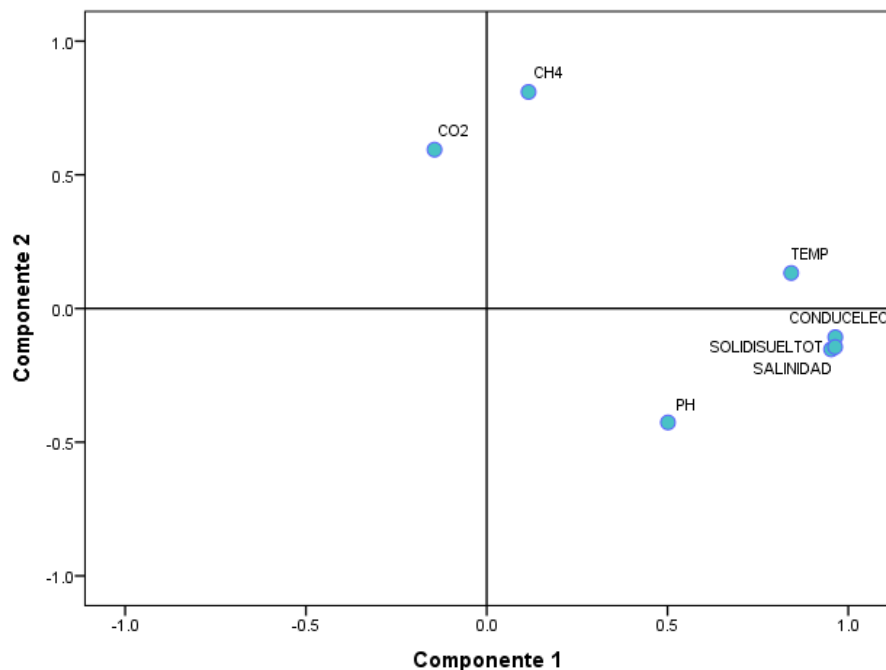


Figura 31. Los componentes 1: temperatura, salinidad, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y pH. Componente 2: CO₂ y CH₄

9. CONCLUSIONES

Si bien el uso de biomarcadores no nos permite saber exactamente a que contaminantes están expuestos los organismos en los cuerpos de agua, si nos permite priorizar sitios que necesiten monitoreo, vigilancia e intervención, haciendo necesario conocer el tipo de contaminante y la sensibilidad del marcador biológico.

- La temperatura del agua de la laguna de Coyuca es la variable fisicoquímica preponderante sobre las otras variables fisicoquímicas estudiadas y de acuerdo a los valores de temperatura (29.3°C) y salinidad (1.8%) se puede clasificar como una laguna tropical oligohalina.
- El pH de la laguna es alcalino y existen lugares en la parte Este de la laguna (sitio 5) en la zona del infiernillo en los meses de noviembre y diciembre donde el pH alcanza valores muy altos (9.9) cercano al límite máximo indicado en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (10.0), poniendo en riesgo a las especies acuáticas que ahí habitan y mostrando signos de una posible contingencia ambiental en este ecosistema costero tropical.
- La laguna de Coyuca actúa como un emisor de CH₄ con un promedio anual de 32.7 mg/L; los sitios de estudio ubicados en las microcuencas de El Embarcadero e la zona de mangle fueron en los que se obtuvieron los valores más elevados con 60.6 y 56.9 mg/L respectivamente.
- La laguna de Coyuca se comporta como un emisor de CH₄ en la parte Este como consecuencia de los arrastres de materia orgánica durante el periodo de lluvias y en mucho menor proporción en la parte Oeste, adyacente al litoral marítimo.
- Con respecto al CO₂ el ecosistema acuático también es considerado un emisor particularmente en los meses de lluvias de julio, junio y agosto como consecuencia de un incremento sustancial de la fauna acuática.
- El principal daño celular encontrado en las muestras de eritrocitos de peces *Ariopsis guatemalensis* (cuatete) en la laguna de Coyuca fue debido a la cariorrexis seguida de cariólisis.

- La presencia de micronúcleos en esta especie acuática nos indica que existen xenobióticos que están afectando la estructura celular de estos organismos y su frecuencia coincide con estudios hechos en otras localidades con contaminantes conocidos. La zona del Embarcadero es el sitio de estudio donde destaca la presencia de cariorrexis y micronúcleos.

10. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

1. Se recomienda realizar el ensayo de MN de manera anual para estudiar el comportamiento de las especies bioindicadoras de contaminación ambiental en la laguna de Coyuca.
2. Desazolver la parte Este de la laguna en El Embarcadero y la zona de mangle, para reducir la cantidad de emisión de CH₄ que el ecosistema produce de manera natural.
3. Sustituir el basurero municipal que se encuentra cercano al sitio 5 la zona de manglar por un relleno sanitario más alejado del cuerpo de agua para evitar el arrastre de lixiviados y contaminantes hacia la laguna.
4. Generar una línea de investigación tendiente a la identificación de las bacterias metanogénicas presentes en el sitio 4 El Embarcadero y el sitio 5 la zona de mangle.
5. Generar una línea de investigación de micronúcleos en peces en el estado de Guerrero.

11. REFERENCIAS

1. Aburto-Medina, A.; Castillo D., Ortíz I., E. Hernández, List R. y Adetutu E. (2015). Microbial Community and pollutants survey in sediments of biologically important wetlands in Lerma, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 31(1), 7-22.
2. Agilent Technologies, (2000). User's Guide Indexx, USA.
3. Allen, D.E., Dalal, R.C., Rennenberg, H., Meyer, R.L., Reeves, S., Schmidt, S. (2007). Spatial and temporal variation of nitrous oxide and methane flux between subtropical mangrove sediments and the atmosphere. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 622 – 631.
4. Arah, J.R.M., Stephen, K.D. (1998). A model of the processes leading to methane emission from peatland. *Atmospheric Environment*, 32(19), 3257 – 3264.
5. Arencibia-Arrebola, D. F. y Rosario-Fernández L. A., (2003). Actualización sobre el ensayo cometa y de micronúcleos *in vitro*. *Retel: Revista de Toxicología en Línea* [Versión electrónica]. Extraído el 13 Abril, 2013 de http://www.sertox.com.ar/img/item_full/20003.pdf. 13/04/2013.
6. Ávila-Pérez H., (2014). Insectos acuáticos de la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero y su relación con la calidad del agua. Tesis de Doctorado para obtener el título de Doctor en Ciencias Ambientales. UAGro/UCDR. Acapulco, México.
7. Báez-Ramírez, O. A., Prieto-García F. y Galán-Vidal C. A. (2004). Bioacumulación y daños genotóxicos en Pez Cebra (*Danio rerio*) por arsénico en aguas de Zimapán, Hidalgo (México). *AquaTIC*, 21, 62-70.
8. Banco Mundial. (2010). Desarrollo y cambio climático. Panorama general. Un nuevo clima para el desarrollo. Washington DC, USA. p.46.
9. Barrera-Escorcía, G., Wong-Chang I., Sobrino-Figueroa A. S., Guzmán-García X., Hernández-Galindo F., y Saavedra-Villeda F. (1998). Estudio Preliminar de Contaminación Bacteriológica de la Laguna Pueblo Viejo, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 14(2), 63-68.

10. Benítez-Díaz P. y Miranda-Contreras L. (2013). Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de América Latina. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 29, 7-23
11. Berra, G. y Finster L. (2002). Emisión de gases de efecto invernadero; influencia de la ganadería Argentina. *Instituto de Patobiología, IDIA*, 21(2), 212-215 [Versión electrónica]. Extraído el 10 Febrero, 2015, de http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/50-efecto_invernadero.pdf.
12. Biodiversidad mexicana (2010). ¿Qué es un ecosistema? Extraído el 3 Abril, 2012 de <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/quees.html>.
13. Bolognesi C. y Hayashi M. (2011). Micronucleus assay in aquatic animals. *Mutagenesis*. 26 (1), 205-213. doi: 10.1093/mutage/geq073
14. Bozo L., Fernández M., Talent L. G. y Janz D. M. (2007). Biomarcadores de contaminación química en comunidades microbianas. *Interciencia*, 8-13.
15. Castañeda-López, O. y Contreras E. F. (2003). El Centro de Documentación "Ecosistemas Litorales Mexicanos" como una herramienta de diagnóstico. Laboratorio de ecosistemas costeros, Dpto. de Hidrobiología, D.C.B.S. UAM-I. Extraído el 12 Febrero, 2014, de <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n48ne/litorales.pdf>
16. Castillo-Elías, B. (2010). Diagnóstico ambiental del manglar en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. Tesis de Doctorado para obtener el título de Doctor en Ciencias Ambientales. UAG-UCDR. Acapulco, México.
17. Cavas, T. (2011). In vivo Genotoxicity Evaluation of Atrazine and Atrazine Based Herbicide on Fish *Carassius auratus* Using the Micronucleus Test and the Comet Assay, *Food and Chemycal Toxicology*, doi:10.1016/j.fct.2011.03.038.
18. Cheng, X., Peng, R., Chen, J., Luo, Y., Zhang, Q., An, S. y Li, B. (2007). CH₄ and N₂O emissions from *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis* in experimental mesocosms. *Chemosphere*, 68, 420-427.

19. Clemente C. I., Nava A. P. A. y Rendón D. J. A. (1993). Análisis de las comunidades ictiofaunísticas de la laguna de Coyuca, Guerrero, México. *Res. V Congr. Latinoamer. de Cienc. del Mar.* cartel 165.
20. Contreras, F. (1993). Ecosistemas costeros mexicanos., *División de Ciencias Biológicas y de la Salud.* México. UAM-I. p. 415. ISBN: 910-620-371-0
21. Costa M. P., Neuparth T. S., Caeiro S., Lobo J., Martins M. y Ferreira A. M. (2011). Assessment of the genotoxic potential of contaminated estuarine sediments in fish peripheral blood: Laboratory versus in situ studies. *Environmental research*, 111, 25-36.
22. Crutzen, P. J., Sanhueza E., C. y Brenninkmeijer A. M. (2006). Methane production from mixed tropical savanna and forest vegetation in Venezuela. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, European Geosciences Union (EGU)*, 6 (2), 3093-3097.
23. Datta, S. Ghosh, Saha D., Bhattacharaya D. R. S. y Mazumder, S. (2009). Chronic exposure to low concentration of arsenic is immunotoxic to fish: Role of head kidney macrophages as biomarkers of arsenic toxicity to *Clarias batrachus*. *Aquatic Toxicol.* 92,86-94.
24. Escalante M., González J., Morales R., Salcedo E. y Rodríguez C. (2003). Simulación del impacto de diversas acciones de recuperación sobre el lago de Pátzcuaro. *Anuario IMTA*, 2003, 32-39.
25. Espinosa-Bouchot M. (2011). Plan para la recuperación ambiental de la Laguna de Bojórquez. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. HL001. México D.F. Extraído el 12 Octubre, 2014 de <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfHL001.pdf>
26. Fenech, M., Chang, W. P., Kirsh-Volders, M., Holland, N., Bonassi, S. y Zeiger, E. (2003). Human micronucleus project. Human project: detailed description of the scoring criteria for the cytokinesis-block micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures. *Mutat. Res.*, 534, 65-75.

27. García, E. (1988). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. 4ª ed. Offset Larios, México, D.F. p. 271.
28. García-Luque E., Forja J. M. y Gómez-Parra A. (2005). Cuantificación y flujos de CO₂ agua-atmósfera en estuarios mediante simulación en laboratorio. *Ciencias Marinas*, 31 (1), 125-133.
29. García-Sánchez, I. J. (2013). 5º Informe del IPCC. La Certeza de Una Herencia. El Calentamiento Global. Extraído el 15 Julio, 2014 de http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2013/DIEEEA51-2013_CertezaCalentamientoGlobal_IJGS.pdf.
30. Gómez-Arroyo S., Martínez-Valenzuela C., Carbajal-López Y., Martínez Arroyo A., Calderón-Segura M. E., Villalobos-Pietrini R. y Waliszewski S. M. (2013). Riesgo genotóxico por la exposición ocupacional a plaguicidas en América Latina. *Rev. Int. Contam. Ambient* 29 (Número especial sobre plaguicidas) 159-180.
31. Gonzalez-Mille D. J., Ilizaliturri-Hernández C. A., Espinoza-Reyes G., Costilla-Salazar, R., Díaz-Barriga F., Ize-Lema I. y Mejia-Saavedra J. (2010). Exposure to persistent organic pollutants (POPs) and DNA damage as an indicator of environmental stress in fish of different feeding habits of Coatzacoalcos, Veracruz, México. *Ecotoxicology*, 19 (7), 1238-1248.
32. Gordillo-Martínez, A. J., Cabrera-Cruz R. B. E., Hernández-Mariano M., Galindo E., Otaz E. y Prieto F., (2010). Evaluación regional del impacto antropogénico sobre aire, agua y suelo. Caso: Huasteca hidalguense, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 26 (3), 229-251.
33. GREENPEACE (2013). Ríos Tóxicos: Lerma y Atoyac. La historia de negligencia continúa. Extraído el 20 Enero, 2014 de <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/Docs/2014/toxicos/Rios%20t%C3%B3xicos%20Lerma%20y%20Atoyac-WEB.pdf>.
34. Guzmán A., M. (1987). *Biología, ecología y pesca del langostino Macrobrachium tenellum (Smith, 1871), en lagunas costeras del estado de Guerrero, México*. Tesis

de Doctorado para obtener el título de Doctor en Ciencias Biológicas. UNAM, México.

35. Hernández M. E. (2010). Suelos de Humedales como Sumideros de Carbono y Fuentes de Metano. *Terra Latinoamericana* 28 (2), 139-147.
36. Hernández-Antonio A. y Hansen A. M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Rev. Int. de Contam. Ambient.* 27 (2), 115-127.
37. INEGI (2010). Censo General de Población y Vivienda. Extraído el 13 Julio, 2013 de <http://www.inegi.org.mx/>.
38. IPCC (2001). Climate Change, 2001. *Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
39. IPCC (2002). Cambio Climático y Biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. PNUMA. 93p.
40. IPCC (2013). *Cambio Climático Base de la Ciencia Física.* WGI Technical Support Unit. University of Bern Suiza.
41. IPCC (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers.
42. Jiménez-Cisneros, B. E. (2001). *La Contaminación Ambiental de México.* 1ª. Ed. LIMUSA. México p. 112.
43. Köppen, W. (1948). *Climatología.* Fondo de Cultura Económica. México.
44. Lango-Reynoso F., Landeros-Sánchez C. y Castañeda-Chávez M. R. (2010). Bioaccumulation of cadmium (Cd), lead (Pb) and arsenic (As) in *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), from Tamiahua lagoon system, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 26, (3) 201-210.
45. Lara-Lara, J.R., Arreola-Lizárraga J. A., Calderón-Aguilera L. E., Camacho-Ibar V. F., De la Lanza-Espino G., Escofet-Giansone A., et al. (2008). Los ecosistemas

costeros, insulares y epicontinentales, Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 109-134.

46. Leff E., Argueta, A., Boege, E. y Porto-Goncalves, C. W., (2002). Más allá del desarrollo sostenible: la construcción de una racionalidad ambiental para la sustentabilidad: una visión desde América Latina. Extraído el 01 Julio, 2014 de http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=363.
47. López A., F. J. B. (1986). Caracterización hidrológica para evaluar la calidad de la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, durante el ciclo anual otoño de 1983 - verano de 1984 y la aplicación de técnicas de recepción remota. Tesis profesional. Fac. Ciencias. UNAM. México.
48. Lovera-Candela, P. (2006). Aguas de consumo: un control creciente. [Versión electrónica]. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*, VII, (10), 1-3.
49. Martínez-Arroyo A., Manzanilla-Naim S. y Zavala-Higalco J. (2011). Vulnerability to climate change of marine and coastal fisheries in México. *Atmósfera*, 24(1), 103-123.
50. Martínez-Valenzuela C. y Gómez-Arroyo S. (2007). riesgo genotóxico por exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas *Rev. Int. Contam. Ambient.* 23 (4) 185-200.
51. Mendoza-Mojica M., Martínez A., Espinoza Ma. De la L. Peralta O. y Castro T. (2013). Caracterización de dos lagunas costeras del pacífico tropical mexicano en relación con el contenido de carbono y la captura y emisión de CH₄ y CO₂. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 29 (2) 145-154.
52. Miller N.J. y Miller J.C. (2002). Estadística y Quimiometría para Química Analítica. 1a. Edición en español. Pearson Educación. Madrid, España. pp. 119-122.
53. Molina-Morales Y., Flores-García M., Balza-Quintero A., Benítez-Díaz P. y Miranda-Contreras L. (2012). Niveles de plaguicidas en aguas superficiales de una región agrícola del estado Mérida, Venezuela, entre 2008 y 2010. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 28, 289-301.
54. Monreal, P.A. (1991). *Evaluación de la concentración de la clorofila a fitoplanctónica estacional en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, utilizando técnicas hidrobiológicas y de percepción remota*. Tesis de licenciatura para optar al título de

Licenciado en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.

55. NMX-AA-007-SCFI-2013. Extraído el 20 Mayo, 2014 de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/nmx-aa-007-scfi-2013.pdf>
56. NMX-AA-008-SCFI-2011. Extraído el 20 Mayo, 2014 de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-008-SCFI11.pdf>
57. NOM-001-SEMARNAT-1996 (Antes NOM-001-ECOL-1996). Extraído el 20 Mayo, 2014 de <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat001.pdf>.
58. NOM 014-SSA1-1993. Extraído el 13 Junio, 2013 de http://www.sideso.df.gob.mx/documentos/legislacion/NOM_014_SSA2.pdf
59. OMM Organización Meteorológica Mundial (2013). El estado del Clima Mundial 2001-2010. Un Decenio de Fenómenos Climáticos Extremos. No. 1119. Informe Resumido. Suiza, p. 20. Extraído el 12 Febrero, 2015 de http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1119_es.pdf
60. ONU (1997). Protocolo de Kioto de la convención marco de la Naciones Unidas sobre el cambio climático. Kioto. p. 24.
61. Oropesa-Jiménez A. L. (2008). Disruptores endócrinos en el medio ambiente: Caso del 17- α -etinilestradiol. *Observatorio Medioambiental*, (2), 63-76.
62. Ortiz-Llorente M. J., Álvarez-Cobelas, M. (2012). Comparison of Biogenic Methane emissions from unmanaged Estuaries, Lakes, Oceans, Rivers and Wetlands. *Atmospheric Environment*. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.05.031.
63. Osman A. G. M., Abuel-Fadl, K. Y. y Kloas, W. (2012). *In situ* evaluation of the genotoxic potential of the river Nile: II. Detection of DNA strand-breakage and apoptosis in *Oreochromis niloticus niloticus* (Linnaeus, 1758) y *Clarias gariepinus* (Burchell, 1882). *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 747, 14-21.
64. Oswald, S. U. (2003). El recurso agua en el Alto Balsas. 1ª ed. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias CRIM-UNAM. México.

65. Palma Acuña P. S. (2005). Ensayo de micronúcleos en eritrocitos de *Oncorhynchus mykiss* como herramienta para evaluar la exposición a pesticidas potencialmente genotóxicos en el río Traiguén, Tesis de licenciatura para optar al título de Licenciado en Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco, Chile.
66. Pícek T.; Čížková H. y Dušek J. (2007). Greenhouse gas emissions from a constructed wetland—Plants as important sources of carbon. *Ecological Engineering*, (31), 98–106.
67. Pignata M. L. (2003). Empleo de biomonitores en estudios de contaminación atmosférica. Auspiciado por Swiss Contact. Instituto de Ecología, La Paz, Bolivia.
68. Pollo F. E., Salas N. E., Mancini M. A. y Martino A. L. (2012). Estudio comparativo de la frecuencia de micronúcleos y anormalidades nucleares en eritrocitos de tres especies ícticas. *Acta Toxicol. Argent.* 20 (2), 62-67.
69. Radford T. (2014). Los humedales y las emisiones de metano. *The Ecologist ENN*. Extraído el 13 Febrero, 2015 de http://www.enn.com/top_stories/article/47208/print.
70. Ramírez E. R. (1988). *Laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, un sistema de estudio integrado*. Tesis de licenciatura para optar al título de Licenciado en Biología. Fac. Ciencias. UNAM. México.
71. Reis-Henriques M., Ferrerira M., Coimbra A., Silva C. D., Costa J. y Shailaja M. S. (2009). Efectos del fenantreno y el nitrito en juveniles del róbalo, *Dicentrarchus labrax*, mediante el uso de enzimas hepáticas biotransformadoras, fluorescencia biliar y micronúcleos como biomarcadores. *Ciencias Marinas*, 35 (1), 29-40.
72. Rodríguez-Laguna R., Jiménez-Pérez Javier, Aguirre-Calderón O. A., Treviño-Garza E. J. y Razo-Zarate R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximha*, 5 (3), 317-327.
73. Rodríguez-Romero A. J., Robles-Salazar C. A., Ruíz-Picos R. A., López-López E., Sedeño-Díaz J. E. y Rodríguez-Dorantes A. (2014). Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitoreo de la calidad del agua del río Chalma. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 30 (3), 307-316.

74. Roldan E. y Pérez A. (2006). Evaluación de micronúcleos en cultivo de linfocitos humanos tratados con Casiopeinae Glyunigen. *2° congreso Nacional de Química Médica*, 1-5.
75. Román C., R. (1996). Aspectos biológicos de la laguna de Coyuca, Guerrero. *Res. 1er. Encuentro Reg. de Invest. y Desarrollo Sustentable: Guerrero, Oaxaca y Chiapas*. 2.
76. Russo C., Rocco L., Morescalchi, M. A., Stingo, V. (2004). Assessment of environmental stress by the micronucleus test and the comet assay on genome of teleost populations from two natural environments. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 57(2), 168-174.
77. Rzedowski, J. (2006). *La Vegetación de México*. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad (editor). México.
78. Salvagni, J., Zeni R. y Fuentefria, A. (2011). Assessment of the genotoxic impact of pesticides on farming communities in the countryside of Santa Catarina State, Brazil. *Genetics and Molecular Biology*, 34, 122-126.
79. San Martín, H. (2003). *Salud y enfermedad: ecología humana, epidemiología, salud pública, medicina preventiva, sociología y economía de la salud*. Ed. La Prensa Médica. México.
80. Schmid, W. (1975). The micronucleus tests. *Mutation Research* 31:9-15.
81. SEDER (2007). *Estudio para determinar la factibilidad técnica, económica, biológica, social, proyecto ejecutivo y manifestación de impacto ambiental, para el dragado del canal de intercomunicación en el sistema lagunar Mitla-Coyuca, Municipio de Coyuca de Benítez, Guerrero*. Secretaría de Desarrollo Rural. Dirección general de fomento pesquero. Informe técnico. Chilpancingo, Gro. p. 150.
82. SEMARNAT (1990). Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CE-CCA-001/89. Gaceta 6. México D. F. Extraído el 15 Octubre, 2013 de http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=191.

83. SEMARNAT (2001). *México II comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático*. Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático. SEMARNAT-INE, México D.F. p. 374.
84. SSA (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, aguas para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. 22 de noviembre del 2000.
85. Torres-Berinstain B., González-López G., Rustrain-Portilla E. y Houbron E. (2013). Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. *Rev. Int. de Contam. Ambient.*, 29 (3), 135-146.
86. Torres-Bugarín O., Zavala-Aguirre J. L., Gómez-Rubio P., Buelna-Osben H. R. y Zuñiga-González G. (2007). Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago “La alberca”, Michoacán México. *Hidrobiología* (17) ,75-81.
87. Tovilla-Hernández, C.; Mora-Corro S. A.; Rojas-García J. y Vázquez-Lule A. D. (2009). Caracterización del sitio de manglar Coyuca – Mitla. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F Extraído el 03 Octubre, 2014 de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/caracterizacion/PS22_Coyuca_Mitla_caracterizacion.pdf.
88. Valencia H. A., Cruz M. P., López C. N., Arcos R. R. y Cantellano de R. E. (2011). *Calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez Guerrero*. Cartel. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores de Zaragoza, Laboratorio de Contaminación Acuática.
89. Villalobos-Zapata, G. J., Yáñez-Arancibia A., Day Jr. J. W. y Lara-Domínguez A. L. (1999). Ecología y manejo de los manglares en la Laguna de Términos, Campeche, México, p. 263-274. *En: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.)*.

Ecosistemas de Manglar en América Tropical. *Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA.* p. 380.

90. Yáñez-Arancibia A., Curiel-Gómez J., y Leyton de Yáñez V. (1976). Prospección biológica y ecológica del bagre marino *Galeichthys caerulescens* (Günther) en el sistema lagunar costero de Guerrero, México. (Pisces: Ariidae). *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 3 (1), 125-180.
91. Yáñez-Arancibia, A, Lara A.L. y Pauly D. (1994). Coastal lagoons as fish habitats, p. 363-376. In B. Kjerfve (ed.). *Coastal lagoons processes. Elsevier, Amsterdam*, p. 577.
92. Zalacain, M., Sierrasesúmaga L. y Patiño A. (2005). El ensayo de micronúcleos como medida de inestabilidad genética inducida por agentes genotóxicos. *An. Sist. Sanit. Navar.* 28 (2), 227-236.
93. Zhu, N. An P., Krishnakumar B., Zhao, L, Mizouchi M. y Inamori Y. (2007). Effect of plant harvest on methane emission from two constructed wetlands designed for the treatment of wastewater. *Environ Manage*, 85 (4), 936-43.

12. ANEXOS

TOMA DE MUESTRAS DE CO₂ y CH₄

Las muestras de gas de la superficie de la laguna en estudio fueron tomadas con una cámara de PVC cerrada montada en una plancha flotante de poliuretano (unicel), utilizando una jeringa de 20 ml para extraer el gas e inyectarlo en frascos de vidrio de 20 ml.

Procedimiento

1. Se coloca la cámara flotante en la superficie del agua y se sujeta de la lancha con una cuerda para evitar que sea desplazada por la marea.
2. Se toma una muestra inicial (tiempo cero) con jeringa de 20 ml.
3. La muestra de gas extraída es inyectada de inmediato en un frasco de vidrio de 20 ml.
4. La muestra es identificada como (muestra inicial) y los siguientes datos: a) lugar, hora y fecha, b) estación, c) clave y número de muestra, d) temperatura, f) salinidad. Usar tinta indeleble.
5. A partir de la colecta de la muestra inicial se toma el tiempo con un cronometro y a los 20 minutos exactamente se colecta la segunda muestra (muestra de tiempo final).
6. Se toma otro frasco de vidrio de 20 ml y se inyecta el contenido de la segunda muestra.
7. Se identifica como muestra de tiempo final y todos los datos de la muestra de tiempo inicial.
8. Las muestras se mantienen en refrigeración y cubiertas con papel aluminio para protegerlas de la exposición a la luz hasta su análisis.

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Mediciones de gases CH₄ y CO₂ de gas de superficie por cromatografía de gases.

La Cromatografía de gases es un método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye la *fase estacionaria*, de gran área superficial, y la otra es un fluido (*fase móvil*) que pasa a través o a lo largo de la fase estacionaria.

Material y Equipo

Cromatografo Agilent series 6890 acoplado a un metanizador.

2 Estándares certificados de CH₄ y CO₂ (50 y 400 ppm)

Baño maría

Gas N₂

Gas H₂

Aire Comprimido

Columna Empacada Porapck-Q

Detector FID

Jeringa para inyección de gases de 5 ml

1 Computadora HP

1 Refrigerador

2 Septas para cromatografía.

Condiciones pre-analíticas

Antes de iniciar el análisis de los gases es importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Crear el método de análisis con las siguientes condiciones:

Temperatura del horno 35° C

Temperatura del puerto de inyección 100° C

Temperatura del metanizador (back inlet) 375° C

Temperatura del FID 300° C

Flujo de H₂ 30 ml/min

Flujo de aire comprimido 400 ml/min

Flujo del Gas acarreador (N₂) 30ml/min

Introducir toda la información referente al método, tipo de muestra, volumen de muestra, procedencia de la muestra, condiciones del equipo, la fecha. etc.

Salvar el método.

Procedimiento

Una vez acondicionado el equipo se procede de la siguiente manera:

- a) Se corre un blanco de equipo
- b) Se corre el blanco de jeringa
- c) Se toma la muestra en forma manual con una jeringa, haciendo una punción en la septa del frasco de muestra.
- d) Se extrae el volumen de muestra requerido y se activa el seguro de la jeringa para evitar que se contamine la muestra con los gases ambientales.
- e) Se introduce la jeringa en el inyector, se desactiva el seguro y se inyecta la muestra.
- f) Se deja correr el cromatograma hasta que aparecen todos los picos de los compuestos de interés.
- g) Se toma la lectura de los tiempos de retención y las áreas de los gases (CO₂ y CH₄).
- h) Se toma la segunda muestra y se sigue el mismo procedimiento (Agilent Technology, 2000).

Calculo de las concentraciones de CH₄ y CO₂

El cálculo de las concentraciones de CH₄ y CO₂ se hizo a partir de la recta de regresión calculada (Miller, 2002).

Tomando la ecuación de regresión lineal

$$y = mx + b$$

Dónde:

y = el área de la señal medida.

m = la pendiente.

x = la concentración.

b = la ordenada en el origen.

Cálculo de la concentración de CH₄:

$$y - b = mx \rightarrow \frac{y - b}{m} = x$$

$$x = \frac{y - b}{m}$$

Cálculo de la concentración de CO₂:

$$y = mx + b$$

$$y - b = mx$$

$$\frac{y - b}{m} = x$$

$$x = \frac{y - b}{m}$$

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN ALCOHÓLICA GIEMSA (solución madre)

Fórmula:

Colorante Giemsa en polvo, certificado.....0.75 g

Alcohol metílico puro.....65 mL

Glicerina pura.....35 mL

Preparación:

- A un frasco de vidrio de color ámbar conteniendo perlas de vidrio de diámetro no mayor de 5 mm, se agrega la glicerina; luego se adiciona el colorante Giemsa, se va agitando. Finalmente, se adiciona el alcohol metílico.
- Agitar el frasco intensamente varias veces al día, durante tres días como mínimo.
- Extraer diariamente una pequeña muestra del colorante preparado, filtrarla a través de papel filtro # 2, y probar con frotis sanguíneos recién preparados.
- Cuando los elementos de la sangre aparezcan con sus colores apropiados, entonces el colorante está listo para ser utilizado.

PREPARACIÓN DEL DILUYENTE (solución amortiguadora)

- El diluyente es una solución amortiguadora y se usa en la preparación del colorante diluido o solución de trabajo.
- Las sustancias amortiguadoras actúan como un adaptador que inactiva dentro de un margen limitado cantidades variables de ácido o álcali.

Fórmula:

- Ortofosfato disódico anhidro (Na_2HPO_4).....4 g
- Ortofosfato monopotásico (KH_2PO_4).....5 g

Preparación:

- Mezclar bien, y disolver 1g de la mezcla en un litro de agua destilada y ajustar el pH a 7,2.

PREPARACIÓN DEL COLORANTE DILUIDO O SOLUCIÓN DE TRABAJO

Fórmula:

- Solución madre Giemsa.....0.05 mL
- Solución amortiguadora o diluyente.....0.95 mL

Preparación:

- En una probeta de vidrio se añade la solución madre Giemsa al 5% con la solución amortiguadora.
- Una forma más rápida de preparar el colorante diluido es agregando una gota de solución madre por mL de solución amortiguadora.
- Después de preparado el colorante madre, se debe determinar el tiempo de coloración que puede ser entre 15 - 20 minutos y la dilución en la que se debe preparar el colorante diluido, estas dos características se deben ajustar en función al estado del colorante madre.

Recomendaciones:

- Mantener el frasco de vidrio color ámbar, que contiene la solución madre de Giemsa bien cerrado y en un lugar fresco, seco y protegido de la luz solar directa para evitar la volatilización del solvente y la oxidación del colorante.
- El material de vidrio como probetas, pipetas, cubetas y embudos empleados en la preparación de los reactivos y colorantes deben estar limpios y secos.
- El frasco de vidrio usado en la preparación del colorante debe ser lavado con detergente y enjuagado hasta que no queden residuos de éste, ya que puede alterar el pH del colorante y estropearlo.
- No se debe añadir agua a la solución madre Giemsa, porque la mínima cantidad de ésta deteriora el colorante.
- No agitar el frasco del colorante antes de utilizarlo porque se suspenden pequeños cristales de éste que no han sido disueltos, y se quedan en los frotis sanguíneos durante el proceso de coloración formando precipitados.

Debe descartarse el colorante diluido no utilizado.

DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO (MÉTODO WINKLER) POR EL MÉTODO 8215 HACH

1. Colectar una muestra de agua en una botella limpia tipo Winkler de capacidad de 300 mL. Permitir que fluya el exceso de la muestra por 2-3 minutos para garantizar que las burbujas de aire no queden atrapadas dentro de la botella.
2. Adicionar un sobre de sulfato manganeso en polvo y posteriormente adicionar el sobre del reactivo de Azida-yoduro álcali.
3. Inmediatamente y evitando tener burbujas de aire dentro de la botella, insertar el tapón esmerilado. Se formaran floculos que se irán precipitando. Si se obtiene una coloración naranja-café es porque hay presencia de oxígeno. Si el flóculo tiene una coloración blanca significa ausencia de oxígeno. En aguas salinas los floculos pueden asentarse lentamente. Cuando los floculos formados se asientan se procede al paso 4.
4. Invertir la botella varias veces y esperar hasta que los floculos y el resto de la botella de la solución quede nuevamente homogenizada. NOTA. Esperar hasta que los floculos formados por segunda ocasión se agiten hasta garantizar la completa reacción de la muestra con los reactivos añadidos.
5. Quite la tapa y adicionar un sobre del reactivo ácido sulfámico en polvo. Volver a colocar la tapa sobre la botella evitando atrapar burbujas de aire dentro de la botella. Invertir la muestra preparada varias veces hasta mezclar y homogenizar. El flóculo se disolverá y dejará un color amarillo si el oxígeno presente.
6. Seleccionar el volumen de muestra preparada y el cartucho de tiosulfato de sodio de acuerdo a lo que se indica en la tabla inferior que corresponda a la concentración de oxígeno disuelto esperado.
7. Insertar un tubo limpio titulador dentro del cartucho de titulación. Colocar el cartucho dentro del titulador digital.
8. Liberar algunas gotas de reactivo titulante. Poner a cero el titulador digital y limpiar la punta.
9. Usar una probeta graduada para medir un volumen de muestra de acuerdo a la tabla inferior. Transfiera la muestra al matraz Erlenmeyer.

10. Colocar la punta del tubo dosificador dentro de la solución y revolver el matraz agregando el tiosulfato de sodio utilizando el aparato titulador, seguir hasta obtener un color amarillo pálido.
11. Agregar dos goteros de 1 mL de la solución indicadora de almidón y mezclar hasta obtener un color azul oscuro en toda la muestra.
12. Continuar la titulación con el tiosulfato de sodio hasta el punto donde se pierde totalmente la coloración. Registrar el número de dígitos requeridos.
13. Para obtener la concentración de oxígeno disuelto en mg/L, multiplicar los dígitos requeridos por el dígito multiplicador escogido de acuerdo a la tabla siguiente.

Rango (mg/L de OD)	Volumen de muestra (mL)	Cartucho titulador (Na₂S₂O₃)	Número de catálogo	Dígito multiplicador
1-5	200	0.200	22675-01	0.01
5-10	100	0.200	22675-01	0.02
>10	200	2.000	14401-01	0.01

CALCULO PARA M² DE EMISIÓN/CAPTURA DE CO₂ Y CH₄

Para obtener el área en metros cuadrados tomando en cuenta las medidas de la cámara.

La cámara tiene 19.5 cm de ancho

9.75 cm de radio

15 cm de longitud

El área es igual a $\pi \times r^2$ (πr^2)

$$3.1416 (9.75)^2 \text{ será igual a } 298.64 \text{ cm}^2$$

El área (la superficie), en metros cuadrados

se divide entre 10, 000 (1 m² es igual a 10 000 cm²),

$$298.64/10,000 = 0.0298 \text{ m}^2$$

$$\text{Flujo} = (C_f - C_i) \times \text{Volumen} / \text{Tiempo} \times \text{Área}$$

C_f = concentración final

C_i = concentración inicial

Volumen = 200 microlitros de la muestra.

Tiempo= 20 min = 0.333 h.