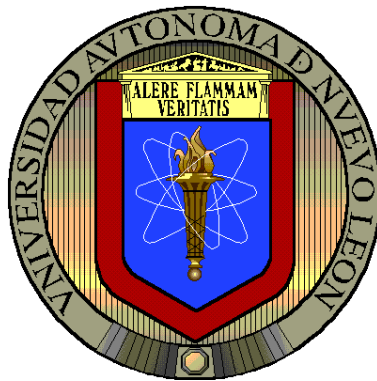


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA
CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO
DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

Por

ALMA ELIZABETH TORRES MUÑIZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

DICIEMBRE 2013.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL

DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO
Subdirector de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Civil, UANL
Presente.-

Estimado Dr. Juárez:

Por este medio le comunico que la **Biól. Alma Elizabeth Torres Muñiz**, pasante de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de tesis denominado ***“ Monitoreo de la comunidad de insectos para evaluar la calidad del agua del Río Pesquería, desde el Municipio de García hasta Pesquería, Nuevo León, México”***, por lo que no tengo inconveniente en solicitarle amablemente gire las instrucciones para dar paso a los trámites correspondientes y atender la solicitud del Examen de Grado de la Biól. Alma Elizabeth Torres Muñiz para cumplir con los requisitos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales de nuestra institución.

Agradeciendo de antemano la atención brindada a la presente, me despido quedando a sus órdenes.

Atentamente
“Alere Flammam Veritatis”
Ciudad Universitaria, 2 de diciembre del 2013.

M.C. ADRIÁN L. FERRIGNO FIERRO
Director de Tesis



DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, U.A.N.L.
Presente.-

Estimado Dr. Juárez:

En atención a su oficio en el que me informa que fui designada Co-Directora de la **Tesis “Monitoreo de la comunidad de insectos para evaluar la calidad del agua del Río Pesquería, desde el municipio de García hasta Pesquería, Nuevo León, México”**, que presenta la **Biól. Alma Elizabeth Torres Muñiz**, como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA.**

Agradeciendo de antemano la atención brindada a la presente, me despido quedando a sus órdenes.

Atentamente

3 DE DICIEMBRE 2013

DRA. VIOLETA ARIADNA RODRÍGUEZ CASTRO
Co-DIRECTORA DE TESIS



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL

DR. CESAR JUAREZ ALVARADO
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, U.A.N.L.
Presente.-

Estimado Dr. Juárez:

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado evaluador de la Tesis " **MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO** ", que presenta el **Biol. Alma Elizabeth torres Muñiz**, como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Ambiental, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro en particular, le reitero mis distinguidas consideraciones y un afectuoso saludo.

Atentamente

"ALERE FLAMMAM VERITATIS"

CD. UNIVERSITARIA, 02 DE DICIEMBRE 2013

M.C. Ricardo Alberto Cavazos González

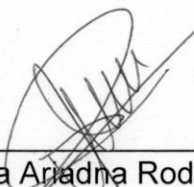


**MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA
CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO
DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.**


Aprobación de la Tesis:



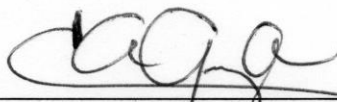
M.C. Adrián Leonardo Ferriño Fierro
Director de Tesis



Dra. Violeta Ariadna Rodríguez Castro
Co-Directora de Tesis



M.C. Ricardo Alberto Cavazos González
Evaluador



Dr. César Antonio Juárez Alvarado
Subdirector de Estudios de Posgrado



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

COMPROBANTE DE CORRECCIÓN

Tesista: ALMA ELIZABETH TORRES MUÑOZ

Tema de la tesis: MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS
PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA,
DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA, HASTA PESQUERÍA, NUEVO
LEÓN, MÉXICO.

Este documento certifica la corrección DEFINITIVA
Del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográfico,
metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

(NINGUNA)

Nombre y firma de quien corrigió:

Arq. Ramón Longoria Ramírez

DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO
Subdirector de Estudios de Posgrado

Ciudad Universitaria, a 27 de NOVIEMBRE de 2013.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Oficio SDEPI-436-2013

ING. LÁZARO VARGAS GUERRA

Director del Departamento de Escolar y de
Archivo de la UANL
Presente.-

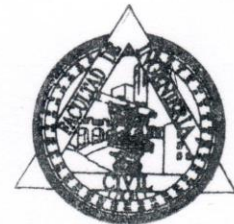
Estimado Ing. Vargas:

Por este conducto me permito comunicarle que la **Biol. Alma Elizabeth Torres Muñiz**, pasante de la **Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental**, ha solicitado su examen de grado, para lo cual a cubierto la totalidad de los requisitos académicos y administrativos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales y el Reglamento General de Estudios de Posgrado de nuestra Institución.

De la manera más atenta, le solicito su colaboración para que se dé el trámite correspondiente en el Departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento, quedo a sus apreciables órdenes para cualquier duda o aclaración.

ATENTAMENTE,
"ALERE FLAMAM VERITATIS"
Cd. Universitaria a 5 de diciembre del 2013



SUB DIRECCION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACION

DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ÁLVARADO
Subdirector de Estudios de Posgrado

C.c.p. Archivo.
Rtp.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a alguien que siempre está conmigo, me cuida y protege, ha sido mi guía en las situaciones más difíciles y me ha regalado tantos bellos momentos, colmando mi vida de bendiciones: **DIOS**.

A la **Dra. V. Ariadna Rodríguez Castro**, por motivarme a realizar el presente estudio, por su apoyo en la dirección y supervisión del mismo, además de facilitarme información bibliográfica y aportar sus conocimientos en la identificación de los insectos. Sobre todo, gracias por tu amistad.

Al **M.C. Adrián Leonardo Ferriño Fierro** mi eterno agradecimiento por dirigirme en este proyecto, por creer en mí aún sin conocerme y apoyarme incondicionalmente en todo momento, además de facilitar el apoyo técnico y los recursos económicos para la realización del mismo. Por su paciencia y comprensión, mil gracias.

Al **M.C. Ricardo Alberto Cavazos González** por la revisión de esta investigación, por las sugerencias, correcciones y aportaciones proporcionadas para este trabajo.

Al **Dr. Humberto Quiroz Martínez**, por facilitarme bibliografía, contribuir con su experiencia en la identificación de los insectos, permitirme usar las instalaciones del laboratorio de Entomología y por las aportaciones proporcionadas a este trabajo.

Al **Dr. Juan Manuel Rodríguez Martínez**, por proporcionarme información bibliográfica, y por su amabilidad durante mi estancia en sus instalaciones al realizar los análisis fisicoquímicos.

Al **Dr. Arcadio Valdés González**, que aparte de contribuir a este proyecto con información bibliográfica, siempre me ha apoyado desde mi formación profesional. Gracias por ayudarme a conseguir la beca y cumplir uno de mis metas al estudiar esta maestría.

A la **M.C. Lilia E. Arredondo**, por haber estado siempre accesible y por su disponibilidad de tiempo al apoyarme en el trabajo de campo, además de las aportaciones realizadas para este proyecto.

Al **Ing. Alberto Benavides**, por auxiliarme en el trabajo de campo, por su disponibilidad de tiempo y seguirme el paso en cada uno de los muestreos, logrando concluirlos de acuerdo con lo programado.

A la **Biól. Yolanda Castillo Ontiveros**, por su ayuda en la limpieza de las muestras, además de apoyarme incondicionalmente desde nuestra época de estudiantes. Por tus palabras de aliento, muchas gracias.

A la **M.C. Laura M. Martínez**, por aportar bibliografía para el presente estudio.

A **Karla E. Guajardo, Marco Cardoza y Gerardo J. Flores** por contribuir en la limpieza de las muestras biológicas. Por el tiempo invertido a este proyecto, gracias.

Al **Dr. Abraham Rodríguez** por su apoyo en el análisis estadístico.

A todas las personas que directa e indirectamente me brindaron su apoyo, muchas gracias.

DEDICATORIA

Con todo el respeto y amor que me merecen, dedico este trabajo a dos personas a las que amo profundamente, por su amor, apoyo, comprensión y darme la oportunidad de convivir día a día con ustedes. Gracias padres:

Ma. Concepción Muñiz García

Juan Torres Segovia

Muy especialmente quiero dedicar este trabajo y agradecer a la vez a un ser muy valioso que siempre me ha apoyado, por su paciencia, palabras de aliento, su dedicación y ser un excelente padre. Con amor, a mi esposo:

Jorge Antonio Barrón Rodríguez.

A mis hijos, que llenan mi vida de felicidad. Simplemente, los adoro:

Karen Estefanía Barrón Torres

Said Antonio Barrón Torres

A mis queridos hermanos, por cuidarme y mantenernos unidos en todo momento:

Aarón Moisés Torres Muñiz

Juan Francisco Torres Muñiz

RESUMEN

Alma Elizabeth Torres Muñiz

Fecha de Graduación: Diciembre, 2013

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Civil

Título del Estudio: MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Número de páginas: 178

Candidato para el grado de Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental.

Área de estudio: Ingeniería Ambiental

Propósito y Método del Estudio: En el presente estudio se determinó la calidad del agua del Río Pesquería mediante el uso de insectos acuáticos como indicadores de la calidad del agua. La colecta se realizó removiendo el fondo del río con una red bentónica, trasladando el material al laboratorio para su proceso curatorial e identificación. Se analizaron los resultados fisicoquímicos y biológicos, aplicando el Índice de diversidad de especies Shannon-Weinner, el índice de riqueza de especies, el EPT y el Índice Biótico de Hilsenhoff para determinar la calidad del agua. Los insectos acuáticos que constituyen un factor de riesgo en la salud humana fueron identificados y se determinaron aquellos que son indicadores de sistemas polisaprobios.

Contribuciones y Conclusiones: El Índice de Shannon-Weinner indicó que la calidad del agua del Río Pesquería fue del tipo Polisaprobio, es decir, un cuerpo de agua eutrófico. Los demás índices lo determinaron en la categoría de severamente impactado. Los insectos indicadores de sistemas polisaprobios fueron la libélula *Erpetogomphus* sp., los escarabajos *Tropisternus* sp., y *T. obscurus*, el mosquito enano *Chironomus plumosus*, el efídrido *Paracoenia* sp., la mosca *Psychoda* sp., y un ejemplar de la familia Muscidae. Las especies de insectos consideradas un factor de riesgo en la salud humana fueron el mosquito enano *Chironomus plumosus*, relacionado con reacciones alérgicas como asma, la rinitis, la conjuntivitis y la dermatitis por contacto; los culícidos *Culex quinquefasciatus* vector del virus del oeste del Nilo y *Cx. tarsalis* que transmite la encefalitis de San Luis, además de *Psychoda* sp., relacionada con pseudomiasis.

FIRMA DEL DIRECTOR DE TESIS:

M.C. Adrián Leonardo Ferriño Fierro

FIRMA DE LA CO-DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Violeta Ariadna Rodríguez Castro

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Clasificación de los insectos según su tolerancia a la contaminación.	38
2. Listado y número total de insectos acuáticos colectados en doce estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	86
3. Densidad de insectos acuáticos correspondientes al nivel de Orden en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	88
4. Número de géneros y/o especies registradas para las estaciones de muestreo ubicadas en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	91
5. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar de la estación E-1 (García), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	99
6. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-2 (Fosas), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	101
7. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-3 (Lincoln), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	102
8. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad media y desviación estándar en la	

estación de muestreo E-4 (Av. Monterrey), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013. .	104
9. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad y desviación estándar en la estación de muestreo E-5 (Parque Industrial), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.	105
10. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-6 (Colombia), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	107
11. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-7 (PTAR Norte), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013. .	108
12. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad media y desviación estándar en la estación de muestreo E-8 (Laredo), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	110
13. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad media y desviación estándar en la estación de muestreo E-9 (Sta. Rosa), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	109
14. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-10 (Agua Fría), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	111
15. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-11 (Pesquería), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	112
16. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-12 (Adjuntas), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	114
17. Valores obtenidos en el Río Pesquería según el Índice de diversidad de especies Shannon-Weinner.	117

18. Valores de riqueza de especies del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	121
19. Valores obtenidos según el EPT del Río Pesquería, durante el periodo noviembre 2012 - abril 2013.	123
20. Valores de tolerancia asignados para insectos acuáticos del Río Pesquería, durante el periodo noviembre 2012 - abril 2013.	125
21. Valores obtenidos en el Río Pesquería según el Índice Biótico de Hilsenhoff.	127
22. Insectos acuáticos en distribución homogénea en el Río Pesquería, según la prueba de Kolmogorov-Smirnov.	129
23. Promedio de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en las estaciones de muestreo del Río Pesquería.	131
24. Correlación múltiple entre los bioindicadores y diez parámetros fisicoquímicos durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	136
25. Densidad y porcentajes de insectos del orden Diptera colectados en el Río Pesquería durante el período noviembre 2012 - abril 2013, considerados como factor de riesgo entomológico.	137
26. Listado de dípteros colectados en el Río Pesquería y su relación con diferentes enfermedades en otros países del mundo donde han sido relacionadas.	140
27. Resultados de la caracterización fisicoquímica realizada por la Facultad de Ciencias Químicas, de la UANL para doce estaciones de muestreo en el Río Pesquería, el 28 de abril del 2013.	152

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación de área de estudio en el Río Pesquería. En la parte inferior se muestran las doce estaciones de muestreo.	65
2. Ubicación de la estación de muestreo E-1 (García), tomada de Google Maps México. Adjunto, arriba, vista general de la estación y abajo, personas llenando recipientes de agua para uso doméstico.	66
3. Ubicación de la estación de muestreo E-2 (Fosas), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior izquierda, vista general de la estación y abajo, descarga de las lagunas de oxidación al Río Pesquería.	67
4. Ubicación de la estación de muestreo E-3 (Lincoln), tomada de Google Maps México. Adjunto a la derecha vista general del área de muestreo.	68
5. Ubicación de la estación de muestreo E-4 (Av. Monterrey), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, vista general del área de muestreo; abajo vecinos del área contaminando el Río Pesquería.	69
6. Ubicación de la estación de muestreo E-5 (Parque Industrial), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, descarga de aguas residuales al Río Pesquería; abajo, vista general del área de muestreo.	70
7. Ubicación de la estación de muestreo E-6 (Colombia), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, vista general del área de muestreo; abajo colecta de insectos acuáticos.	71

8.	Ubicación de la estación de muestreo E-7 (PTAR Norte), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, vista general del área de muestreo; abajo, tiradero de llantas que abunda en ésta localidad.	72
9.	Ubicación de la estación de muestreo E-8 (Laredo), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior izquierda, vista general del área de muestreo; abajo colecta de insectos acuáticos. . .	73
10.	Ubicación de la estación de muestreo E-9 (Sta. Rosa) tomada de Google Maps México. Adjunto, superior izquierda, vista general del área de muestreo; abajo, el pastoreo de ganado caprino que se observó a menudo en la localidad.	74
11.	Ubicación de la estación de muestreo E-10 (Agua Fría), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior izquierda, descarga de aguas residuales de los vecinos que viven al margen del río; abajo, vista general del área de muestreo.	75
12.	Ubicación de la estación de muestreo E-11 (Pesquería), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, vista general del área de muestreo; abajo, pastoreo de ganado caprino.	76
13.	Ubicación de la estación de muestreo E-12 (Adjuntas), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, vista general del área de muestreo; abajo, persona lanzando la red de pesca.	77
14.	a) Izquierda, colecta de insectos acuáticos; b) vertido del material biológico en bolsas whirrk pack; c) preservación en alcohol etílico al 96%.	79
15.	a) Izquierda, separación y cuantificación de los insectos acuáticos colectados; b) identificación de insectos con ayuda del microscopio estereoscopio Carl Zeiss.	79
16.	a) Izquierda, toma de muestras de agua; b) centro, análisis in situ de parámetros fisicoquímicos; c) derecha, análisis de arsénico, cianuro, turbiedad y nitratos.	80
17.	Abundancia de insectos colectados en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	88

18.	Densidades y porcentajes de insectos acuáticos colectados a nivel Orden, en los doce muestreos del Río Pesquería.	89
19.	Porcentaje y densidad de insectos acuáticos colectados en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	90
20.	Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Ephemeroptera en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	92
21.	Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Odonata en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	93
22.	Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Hemiptera en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	94
23.	Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Coleoptera en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	95
24.	Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Diptera en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	96
25.	Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Trichoptera en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	97
26.	Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Lepidoptera en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	98
27.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-1 (García), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	100
28.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-2 (Fosas), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	102
29.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-3 (Lincoln), del Río Pesquería, durante el período de noviembre 2012 - abril 2013.	103

30.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-4 (Av. Monterrey), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013. . .	104
31.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-5 (Parque Industrial), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013. . .	106
32.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-6 (Colombia), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	107
33.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-7 (PTAR Norte) del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013. . .	108
34.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-8 (Laredo), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	109
35.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-9 (Sta. Rosa), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013. . .	110
36.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-10 (Agua Fría,) del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013. . .	111
37.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-11 (Pesquería), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013. . .	113
38.	Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-12 (Adjuntas), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	114
39.	Categorización del Río Pesquería de acuerdo al Índice de Shannon-Weinner durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	119
40.	Tipo de impacto según el valor de riqueza de especies para doce estaciones del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	122

41.	Tipo de impacto según el valor EPT, para doce estaciones del Río Pesquería, durante el periodo noviembre 2012 – abril 2013.	124
42.	Tipo de impacto según el Índice Biótico de Hilsenhoff, para doce estaciones del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.	128
43.	Insectos indicadores del Río Pesquería, sistema polisaprobio severamente impactado: 1) <i>Erpetogomphus</i> sp., 2) <i>Tropisternus</i> sp., 3) <i>T. obscurus.</i> , 4) <i>Chironomus plumosus</i> , 5) <i>Paracoenia</i> sp., 6) <i>Psychoda</i> sp., y 7) Muscidae B.	130
44.	Valores de temperatura del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.	141
45.	Valores del pH del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.	142
46.	Valores de oxígeno disuelto del agua, en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.	143
47.	Valores de conductividad del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.	144
48.	Valores de sólidos disueltos totales del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.	145
49.	Valores de salinidad del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.	146
50.	Valores de turbiedad del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.	147
51.	Valores de nitratos del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.	148
52.	Valores de arsénico del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.	149
53.	Valores de cianuros del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.	150

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVO E HIPÓTESIS.	1
2. ANTECEDENTES.	6
2.1 La Contaminación del Agua.	6
2.2 Análisis para Determinar la Calidad del Agua.	11
2.2.1 Monitoreo físico.	13
2.2.2 Monitoreo químico	16
2.2.3 Monitoreo microbiológico.	21
2.2.4 Monitoreo biológico o biomonitoreo.	21
2.3 Macroinvertebrados como bioindicadores de contaminación.	23
2.4 Insectos indicadores de la calidad del agua.	27
2.5 Insectos acuáticos como factores de riesgo en la salud humana	39
2.6 Investigaciones para determinar la calidad de los sistemas acuáticos utilizando bioindicadores de contaminación.	42
2.7 Estudios regionales para determinar la calidad de los sistemas acuáticos mediante bioindicadores de contaminación.	52
2.8 Método de muestreo y manejo de muestras.	57
2.9 Modelos estadísticos.	61

3. MATERIAL Y MÉTODO.	64
3.1 Área de estudio.	64
3.1.1 Estaciones de muestreo.	66
3.2 Manejo de muestras.	78
3.2.1 Colecta de insectos acuáticos.	78
3.2.2 Identificación taxonómica.	79
3.2.3 Toma de muestras de agua para su caracterización físico-química.	80
3.3 Análisis de datos	81
3.3.1 Estado ecológico mediante índices ecológicos de diversidad y riqueza sobre insectos acuáticos.	81
3.3.2 Calidad del agua mediante índices bióticos aplicados a insectos acuáticos.	82
4. RESULTADOS.	84
4.1 Caracterización biológica de insectos acuáticos.	85
4.1.1 Análisis estructural de las comunidades de insectos acuáticos.	85
4.1.2 Determinación del estado ecológico del Río Pesquería mediante el índice de diversidad de especies de Shannon-Weinner.	115
4.1.3 Estimación de la calidad del agua mediante índices bióticos.	118
4.1.4 Determinación de los géneros y especies bioindicadores locales de contaminación.	128
4.1.5 Determinación de géneros y especies que constituyen un factor de riesgo en la salud humana asociado al Río Pesquería.	134
4.2 Caracterización fisicoquímica.	141
4.2.1 Temperatura del agua.	141
4.2.2 pH.	142
4.2.3 Oxígeno disuelto.	143
4.2.4 Conductividad.	144
4.2.5 Sólidos disueltos totales (TDS).	145
4.2.6 Salinidad.	146
4.2.7 Turbiedad.	147
4.2.8 Nitratos.	148
4.2.9 Arsénico.	149
4.2.10 Cianuros	150

5. DISCUSIONES.	156
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	166
BIBLIOGRAFÍA.	170
RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO	

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El agua es un recurso natural muy importante, pues sin ella no podría existir la vida; además, ayuda a satisfacer las necesidades humanas domésticas, industriales, agrícolas y ganaderas, entre otras. A medida que aumenta el consumo de agua por la población, debido al rápido crecimiento poblacional que implica la industrialización y la urbanización, también aumenta el volumen de agua contaminada con desechos de todos tipos, los cuales van a parar la mayoría de las veces a los ríos, utilizados como “drenajes gratuitos”, provocando problemas de contaminación. Lo anterior trae como consecuencia que visualmente sean los ríos antiestéticos y se generen en ellos malos olores, daños a la vida acuática y a la salud pública. Entre los efectos más comunes de los contaminantes sobre la vida acuática se encuentran: la muerte, la migración, la disminución de la reproducción y el descenso en la población.

Para determinar la calidad de un sistema de agua se han utilizado análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y estudios biológicos; sin embargo, los primeros proveen datos que reflejan las condiciones que existen sólo en el momento en que es o fue tomada la muestra; en cambio, los biológicos, que se realizan mediante el monitoreo de organismos o especies indicadoras, proporcionan un reflejo de las condiciones del pasado y del presente, por lo que resultan más convenientes (Resh *et al.*, 1996).

El monitoreo biológico es el uso sistemático de organismos vivos y su respuesta para determinar la calidad del ambiente acuático. Se define como indicador biológico de contaminación a aquél ser vivo que refleja los cambios en la calidad de su ambiente o entorno. Los macroinvertebrados bentónicos son excelentes indicadores, los insectos se incluyen entre los más usados por diversas razones: se encuentran en casi todos los hábitats, por lo que son afectados en distintos estratos del sistema, presentan un intervalo amplio de respuesta a la contaminación, además de que sus hábitos sedentarios y sus ciclos de vida relativamente largos permiten establecer consideraciones del estado de salud en un sistema acuático (Sandoval y Molina, 2000).

Los problemas de la contaminación del agua en los ríos mencionados anteriormente se viven en la actualidad en el estado de Nuevo León. El Río Pesquería representa el principal sistema acuático donde se descarga agua residual del Área Metropolitana de Monterrey y se reportó entre los cuerpos de agua con mayor grado de contaminación (Programa Nacional Hídrico, 2008). Este río es el mayor de los afluentes que conforman la cuenca del Río San Juan y su agua se usa para riego agrícola. Conforme atraviesa el Área Metropolitana de Monterrey, los problemas de contaminación se van generando por diversas causas: una ellas es la presencia de asentamientos irregulares en los márgenes del río que descargan sus drenajes directamente al río; además, lo usan como basurero donde tiran desechos orgánicos e inorgánicos. Es común ver llantas, plásticos, animales muertos, escombros y hasta muebles

viejos. A lo anterior se añaden las descargas clandestinas de algunas empresas que no cumplen con la normatividad correspondiente.

Para preservar la calidad de los ríos se deben regular las descargas que éstos reciben y tratarlas, a fin de hacerlas adecuadas para cada uso.

Por el impacto que ha generado la contaminación del Río Pesquería, el gobierno de Nuevo León tiene proyectado su limpieza y saneamiento a corto plazo, además de crear un parque lineal que propicie actividad recreativa para sus habitantes.

Los estudios de ríos que reciben descargas de agua residual son importantes para estimar el grado en que se afecta el cuerpo receptor y planear acciones. Este tipo de investigaciones proveen datos acerca de la diversidad y la abundancia de organismos que lo habitan, así mismo, se observan los efectos que presentan los contaminantes vertidos. Actualmente la Comisión Nacional del Agua ha comenzado a utilizar el monitoreo biológico en algunos ríos, además de los análisis físico-químicos para evaluar la calidad del agua.

Debido a la gran contaminación ocasionada en el Río Pesquería por las actividades industriales, de agricultura, además de las descargas producidas por los asentamientos urbanos, este estudio contribuirá en la evaluación de la calidad del agua del Río Pesquería mediante un monitoreo de la comunidad de insectos, donde la presencia, densidad y población de los mismos juega un

papel importante. Este estudio también proporcionará información acerca del estado ecológico del río, gracias a la aplicación de modelos biológicos. También se determinará si hay especies de insectos que sean potencialmente peligrosos para la salud y puedan ser causantes de enfermedades en la población humana.

OBJETIVO GENERAL:

Monitorear la comunidad de insectos para evaluar la calidad del agua del Río Pesquería.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Determinar el estado ecológico de doce estaciones de muestreo ubicadas en el Río Pesquería mediante el índice ecológico de diversidad Shannon-Weinner.
2. Estimar la calidad del agua en doce estaciones del Río Pesquería mediante índices bióticos aplicados a los insectos acuáticos que ahí se encuentren.
3. Identificar los géneros/especies de los insectos acuáticos que constituyan un factor de riesgo para la salud humana en el Río Pesquería.

HIPÓTESIS GENERAL:

La calidad del agua del Río Pesquería es similar en el área de estudio de acuerdo a la comunidad de insectos.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:

1. Se supone que el estado ecológico de las doce estaciones de muestreo ubicadas en el Río Pesquería es similar, al analizarlas mediante el índice ecológico de diversidad Shannon-Weinner.
2. También que la calidad del agua será igual en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería, al aplicar los índices bióticos a los insectos acuáticos que ahí se encuentren.
3. Y que los géneros/especies de insectos acuáticos colectados en el Río Pesquería no representan un factor de riesgo para la salud humana.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 La contaminación del agua

Contaminación del agua es un término poco preciso que poco expresa acerca del tipo de material contaminante ni de sus fuentes. El modo de atacar el problema de la mala disposición de los residuos depende de si los contaminantes demandan oxígeno, si favorecen el crecimiento de algas, si son infecciosos, tóxicos o simplemente de aspecto desagradable. La contaminación de los recursos hidráulicos puede ser consecuencia directa del erróneo desagüe del agua negra o de descargas industriales (fuentes puntuales), o indirecta de la contaminación del aire o de los desagües agrícolas o urbanos (fuentes no puntuales), de acuerdo con (Henry y Heinke, 1999).

La contaminación se refiere a cualquier cambio en la calidad natural del medio, causada por factores: químicos, físicos o incluso biológicos, y normalmente se refiere a las actividades del hombre (Kiely, 1999).

Todo cambio en la calidad del agua natural implica contaminación, si bien sus propiedades también se ven deterioradas por algunos fenómenos naturales, como los huracanes, las corrientes de lodo y las lluvias torrenciales.

Los problemas más graves, de mayor alcance y duración, son sin duda los provocados por la influencia humana. La contaminación del medio acuático significa la introducción, por parte del hombre, ya sea de manera directa o indirecta, de sustancias o energía (calor), que producen efectos nocivos, entre ellos, daños a los recursos vivos (biológicos), riesgos para la salud humana (patógenos), obstaculización de las actividades acuáticas, incluida la pesca, y deterioro de la calidad del agua, en relación con los procesos de consumo deseados, tales como la agricultura, la industria, los recursos recreativos o el abastecimiento doméstico (Chapman, 1992).

Otros autores consideran que la contaminación del agua superficial proviene de muchas fuentes, pero éstas se pueden clasificar en dos tipos, según la forma en que se vierten en ellas: a) la contaminación de fuentes localizadas se refiere a las que se descargan a través de un punto fijo y definido, como es una tubería, una zanja o una cloaca; b) la contaminación de fuentes dispersas se refiere a aquellas recogidas por escurrimientos, que se vierten de manera difusa desde zonas separadas entre sí y provienen de zonas geográficas más amplias y extendidas, como escurrimientos agrícolas, urbanos o suburbanos, de predios en construcción, derrames y descargas, incluyendo la contaminación del aire, que por medio de la precipitación suelen recoger contaminantes (Quiroz-Martínez y Rodríguez-Castro 2006).

Los autores citados mencionan que las principales fuentes localizadas de la contaminación del agua superficial son dos: aguas residuales municipales

domésticas e industriales. Se entiende por agua residual municipal doméstica al agua usada en las labores de aseo e higiene; es decir, la que se desecha en los hogares, además de aquella que se vierte por los edificios públicos, los establecimientos comerciales, los sumideros para el agua pluvial y algunas industrias que desaguan en los sistemas de alcantarillado municipal. El agua residual municipal industrial es aquella que la industria usa principalmente para enfriar o limpiar maquinaria, procesar materia prima o alimentos y controlar la contaminación del aire.

El agua se contamina cuando la descarga de residuos perjudica su calidad o perturba el equilibrio ecológico natural. Los contaminantes que causan problemas comprenden organismos que originan enfermedades (patógenos), materia orgánica, sólidos, nutrientes, sustancias tóxicas, color, espuma, calor y materiales radiactivos.

Una de las primeras manifestaciones del efecto de la contaminación orgánica del agua es la disminución brusca de la concentración de oxígeno disuelto, en el lugar de los vertidos, debido a que el oxígeno es utilizado y, por tanto, retirado del medio por los microorganismos que proliferan en el agua contaminada, impidiendo el desarrollo de la vida de las especies superiores; no sólo por el déficit de oxígeno, sino también por la insalubridad que acarrea la población microbiana resultante (Gil, 2005).

Tejada-Orlando (2006) comenta que una de las formas más comunes de contaminación en los ecosistemas acuáticos se da con el incremento de los nutrientes. A este proceso se le conoce como eutroficación; se presenta en las áreas cercanas a los sitios de descarga de agua residual, tanto de origen doméstico como industrial, siendo la más importante en este proceso de eutroficación la contaminación orgánica generada por los desechos de este tipo. Dado el movimiento propio de estos cuerpos de agua, el problema no es tan severo, ya que existe un sistema natural de restauración, que dependerá de la cantidad y el flujo de agua, la frecuencia y el tipo de descargas, el sustrato del sistema acuático y la vegetación riparia entre otras.

Otra de las fuentes de eutroficación del agua la constituyen las excretas generadas en las granjas de producción animal: las avícolas, porcinas, etc.

Los ríos tienen una capacidad limitada de absorber y eliminar la contaminación de los vertidos que reciben; esto se debe a la utilización de la materia orgánica del vertido por las bacterias presentes en el río, de modo que en su actividad mineralizan la materia putrescible de los vertidos y, a su vez, las bacterias son fagocitadas por los protozoos y éstos, a su vez, por organismos superiores.

El movimiento del agua en su discurrir reoxigena al propio líquido vital, de modo que la carga contaminante vertida disminuye por biooxidación y por decantación, tendiendo la concentración de oxígeno disuelto a recuperar la

saturación, a la vez que se degrada la materia microbiana. A este proceso se denomina autodepuración (Gil, 2005).

A menos que el agua se reoxigene eficazmente, como en el caso de que exista un flujo turbulento en un arroyo poco profundo, ésta pierde rápidamente oxígeno y no es capaz de sostener formas superiores de vida acuática.

Cuando se rebasa la capacidad de un río de eliminar la contaminación vertida sobre él (autodepuración), el río comienza a presentar signos de contaminación, tales como turbidez y malos olores (Gil, 2005).

Es necesario un control cuidadoso de las fuentes de las aguas residuales para minimizar los problemas de contaminación generados por ellas.

Lo ideal sería que ningún río se contaminara, que todos estuvieran rebozantes de peces y fueran estéticamente agradables. Pero en un país industrializado es económicamente imposible evitar la contaminación de los ríos y es indispensable llevar un registro de todos los recursos hidráulicos y clasificar los ríos según sirvan o no para propósitos particulares (Tebbut, 1994). Cada uso tiene sus requerimientos específicos de calidad del agua.

2.2 Análisis para determinar la calidad del agua.

Hay diversos métodos para estimar el grado de contaminación acuática, los más utilizados se han basado principalmente en análisis físico-químicos y bacteriológicos; sin embargo, en los últimos años se ha utilizado otro método llamado biológico, que se realiza mediante el monitoreo de organismos o especies indicadoras: los macroinvertebrados y se usan principalmente los insectos acuáticos (Merrit y Cummins, 1996).

Otros autores consideran que el agua se evalúa en cuanto a calidad en términos de sus propiedades físicas, químicas y microbiológica (Henry y Heinke, 1999).

Sin embargo, hay quienes expresan que el inconveniente de realizar medidas de factores físico-químicos para evaluar la calidad del agua es que esta clase de análisis provee datos que reflejan las condiciones que existen sólo en el momento en que es o fue tomada la muestra; en cambio, los monitoreos biológicos proporcionan un reflejo de las condiciones del pasado y del presente, por lo que resultan más convenientes (Resh *et al.*, 1996; Barba-Álvarez, De la Lanza-Espino, Contreras-Ramos y González-Mora, 2013)

Barba-Álvarez, De la Lanza-Espino, Contreras-Ramos y González-Mora (2013) establecen que los macroinvertebrados y, en particular los insectos, son un componente importante tanto en la biodiversidad como en el funcionamiento

de los ecosistemas dulceacuícolas; en cambio, de los análisis fisicoquímicos que dan información sobre las condiciones en el momento de tomar la muestra, el monitoreo biológico informa tanto de condiciones pasadas como de las actuales.

Se deben medir los siguientes parámetros básicos en cada sitio, como un monitor de cambios de la calidad del agua sobresalientes: el oxígeno disuelto, el pH, la conductividad y la temperatura; pero es recomendable también evaluar tamaño de partícula del sustrato (Bode *et al.*, 1991). Otros autores agregan la turbiedad.

La calidad del agua afecta a las poblaciones nativas de organismos acuáticos, en cuanto a su abundancia, las especies que la componen, la productividad y la condición fisiológica. Por ello, la naturaleza y la salud de las comunidades acuáticas son una expresión de la calidad del agua. Entre los métodos biológicos utilizados para evaluar la calidad, se incluyen: la obtención, el recuento y la identificación de organismos acuáticos, la medida de la biomasa, la determinación de las tasas de actividad metabólica, la medida de toxicidad, la bioconcentración y el biacúmulo de contaminantes, además del procesado y la interpretación de los datos biológicos (AWWA, 1985).

La información obtenida con ese tipo de determinaciones puede servir para:

- a) Ayudar en la interpretación de los análisis químicos, relacionando, por ejemplo, la presencia o ausencia de algunas formas biológicas de deficiencia o

sobresaturación de oxígeno en el agua natural. b) Proporcionar datos sobre el estado de un sistema acuático de una forma regular. c) Indicar el curso de la autopurificación en las masas acuáticas, etc., (AWWA, 1985). Se recomienda recoger muestras para análisis físico y químico cerca de las estaciones de toma de muestras biológicas para asegurar la correlación de los resultados.

2.2.1 Monitoreo físico.

Las características físicas son en muchos casos relativamente fáciles de medir, algunas de las cuales puede observarlas un lego rápidamente: 1) La temperatura. 2) El sabor y el olor. 3) El color. 4) La turbidez. 5) Los sólidos disueltos y 6) La conductividad eléctrica (Tebbutt, 1994 y Kiely, 1999).

2.2.1.1 Conductividad.

La conductividad es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar la corriente eléctrica (Kiely, 1999), y varía con el tipo y la cantidad de los iones que la solución contiene. La conductividad es importante porque a través de ella se puede estimar el contenido de sólidos disueltos en una muestra. La unidad de medición utilizada comúnmente es el Siemens/cm (S/cm), con una magnitud de 10 elevado a la -6; es decir, microSiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$), o en 10 elevado a la -3, es decir, miliSiemens (mS/cm).

2.2.1.2 Temperatura.

Básicamente ésta es importante por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, la aceleración de reacciones químicas, la reducción en la solubilidad

de los gases, la intensificación de los sabores y los olores (Tebbutt, 1994). En el entorno de un río, si la temperatura aumenta, reduce la cantidad de oxígeno en el agua, haciendo por ello el río menos deseable para los peces, particularmente los más sensibles como los salmones. La descarga de efluentes de agua residual (supuesta caliente) también elevará las temperaturas.

Al evaluar la contaminación por temperatura se deben considerar los siguientes efectos:

- a) Un aumento de temperatura baja la capacidad de asimilación del agua y la velocidad con la que se ejerce, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) también aumenta.
- b) A medida que se aumenta la temperatura, los organismos requieren más oxígeno disuelto para existir.
- c) Los cambios de temperatura pueden alterar la velocidad de reproducción, así como otras actividades de los organismos acuáticos.
- d) Ciertos compuestos pueden ser más tóxicos a los organismos acuáticos a medida que aumenta la temperatura.
- e) Un aumento de temperatura por lo general causa una reducción en la diversidad de especies y aumento en el número de organismos en grupos selectos. Gaytán (1994).

2.2.1.3 Turbiedad.

La presencia de sólidos coloidales le da al líquido una apariencia nebulosa que es poco atractiva y puede ser dañina. La turbiedad en el agua pueden causarla partículas de arcilla y limo, descargas de agua residual, desechos industriales o a la presencia de numerosos microorganismos (Tebbutt, 1994). Los sedimentos de los ríos son una principal causa de turbiedad, pero las descargas de alcantarillas y algunas industrias, aumentan la concentración de partículas suspendidas. La turbiedad interfiere con la actividad fotosintética de plantas y con la capacidad de algunos organismos determinados para existir, Gaytán (1994). La unidad de medida para la turbiedad es NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

2.2.1.4 Sólidos disueltos totales.

Los sólidos disueltos totales (TDS) son las sustancias orgánicas e inorgánicas solubles presentes en el agua. Los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionados. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica. Las unidades de TDS son miligramos por litro o partes por millón (Tebbutt, 1994).

2.2.2 Monitoreo químico.

Las características químicas tienden a ser más específicas en su naturaleza que algunos de los parámetros físicos y por eso son más útiles para evaluar las propiedades de una muestra de inmediato; con el pH, la alcalinidad, la acidez, la dureza, el oxígeno disuelto, la demanda de oxígeno (DBO, DQO), el Nitrógeno y los Cloruros (Tebbutt, 1994 y Kiely, 1999).

El agua residual industrial tiene también otras características químicas especializadas que se pueden evaluar; por ejemplo, la presencia de metales tóxicos, el cianuro, los fenoles, las grasas, los aceites, etc.

2.2.2.1 pH (Potencial de Hidrógeno).

La intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra se mide en la escala del pH, que en realidad mide la concentración de iones de hidrógeno presentes. El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica normalmente se restringe a una escala bastante estrecha de pH entre 6 y 8, por lo tanto, es importante que el impacto antropogénico sea minimizado (Tebbutt, 1994 y Kiely, 1999).

2.2.2.2 Demanda bioquímica de oxígeno.

La demanda bioquímica de oxígeno al quinto día (DBO_5) es la cantidad de oxígeno disuelto consumido en una muestra de agua por los microorganismos cuando se descompone la materia orgánica, a 20°C, en un período de 5 días, según Kemmer y McCallion (1989). Entre mayor sea la carga orgánica

desechada a un cuerpo de agua, mayor será la necesidad de oxígeno para su descomposición, por lo tanto, habrá una baja en el oxígeno disuelto creando condiciones que van en detrimento de la vida acuática.

El agua limpia tiene valores de la DBO_5 menores que 1 mg/l. Los ríos se consideran contaminados si la DOB_5 es mayor que 5 mg/l (Kiely, 1999). El parámetro DBO se aplica generalmente al agua residual. Para Gil (2005) la calidad de un río considerado como limpio ha de presentar una DBO de no más de 2 mg/L, que por las posibles aportaciones no debiera rebasar los 4 mg/L. La DBO es el parámetro más importante en el control de la contaminación del agua (Henry y Heinke, 1999).

2.2.2.3 Oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto (OD) es el que se encuentra libremente en el agua, se expresa en mg/L y es muy importante en el control de la calidad. El análisis de oxígeno disuelto es una prueba clave en la contaminación del agua y control del proceso de tratamiento de agua natural. (AWWA, 1991). Su presencia es esencial para mantener las formas superiores de vida biológica y el efecto de una descarga de desechos en un río se determina principalmente por el balance de oxígeno del sistema. El agua superficial limpia normalmente está saturada de OD, pero la demanda de oxígeno de los desechos orgánicos puede consumirlo rápidamente. En el agua contaminada, la concentración de oxígeno disuelto alcanza un valor bajo. Un parámetro estrechamente ligado al OD es la demanda biológica de oxígeno (Tebbutt, 1994, Gil, 2005).

Cuando todo el OD desaparece, se presentan condiciones anaeróbicas y se generan olores desagradables. Puesto que la cantidad de OD en el agua disminuye al aumentar la temperatura, la cantidad de oxígeno en las corrientes es más crítica para la vida acuática en el verano (cuando los flujos son bajos y las temperaturas altas) que en el invierno (Henry y Heinke, 1999).

La baja solubilidad del oxígeno en el agua es el factor principal que limita la capacidad de autopurificación del agua natural; de ahí la necesidad que existe de dar tratamiento a los desechos líquidos, tanto domésticos como industriales, según Gaytán (1994).

2.2.2.4 Salinidad.

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en el agua. La salinidad y la conductividad están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas. Las sales y también otras sustancias afectan la calidad del agua potable o de riego (Kiely, 1999).

2.2.2.5 Nitrógeno.

Es un elemento importante, ya que las reacciones biológicas solo pueden efectuarse en presencia de suficiente nitrógeno. Existe en cuatro formas principales, por lo que toca a la ingeniería de salud pública: el Nitrógeno orgánico, que se encuentra en la forma de proteínas, aminoácidos y urea; el Nitrógeno amoniacal: Nitrógeno como sales de amoníaco; por ejemplo $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, o como amoníaco libre; el Nitrógeno de nitritos: una etapa

intermedia de oxidación que normalmente no se presenta en grandes cantidades y el Nitrógeno de nitratos, producto final de la oxidación del nitrógeno, que es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos y, en algunos casos, ha sido identificado como el determinante del crecimiento (Tebbutt, 1994).

Kiely (1999) indica que el nitrógeno, al igual que el fósforo, es esencial para el crecimiento de las plantas y los organismos; aunque en exceso puede ser no deseable, conduciendo a menudo a la eutrofización. En un medio acuoso, el nitrógeno disuelto en el agua puede fijarse mediante la presencia de algas y algas y bacterias. El nitrógeno también puede introducirse en el agua superficial o subterránea mediante la inducción de agua residual fecal o industrial, que resulta de la división de las proteínas y otros compuestos de nitrógeno.

2.2.2.6 Arsénico.

Éste es un elemento químico que se encuentra frecuentemente en el agua “natural” a la que llega por la erosión de rocas superficiales y volcánicas. Por lo común, el agua superficial tiene bajos contenidos de arsénico. La mayor parte del arsénico que existe en el agua y en el medio ambiente proviene de la actividad humana, éste pasa al medio ambiente durante su empleo como insecticida o herbicida, en cultivos tan variados como la vid, el algodón, las verduras, el tomate, el café, la cocoa, etc. También se emplea como esterilizante del suelo, como preservador de la madera o como antiparasitario

en los baños para ovejas y cabras. Se producen descargas intensas de arsénico al medio ambiente a partir de los gases de chimeneas y los líquidos de descarga industrial provenientes de fundiciones de minerales, especialmente los no ferrosos, tales como el cobre, el estaño y el cobalto, entre otros. La contaminación del agua de consumo con arsénico produce cáncer de piel, de pulmón y gastrointestinal, de acuerdo con (Albert, 1997; Manahan, 2007; Henry y Heinke, 1999).

2.2.2.7 Cianuro.

El cianuro es una sustancia letal. En el agua existe como HCN, que es un ácido débil. Se usa ampliamente en la industria, especialmente para limpieza de metales y galvanoplastia. Es también uno de los principales contaminantes de los efluentes residuales procedentes del lavado de gases, en las plantas de gas y del coque en hornos de coque. También se utiliza en ciertas operaciones de procesamiento de minerales. Como resultado del vertimiento en sistemas acuáticos de cianuros, en las operaciones del procesado o procesamiento de minerales o de otras fuentes, se han detectado numerosas muertes de peces en los sistemas acuáticos superficiales (Manahan, 2007; Kemmer y McCallion, 1989).

2.2.3 Monitoreo microbiológico.

Patógenos como *Vibrio cholerae*, causante de cólera y *Salmonella*, causante de fiebre tifoidea, paratifoidea y disenterías se utilizan como indicadores de la contaminación. La calidad microbiológica está basada en el análisis de indicadores, entendiendo como indicador a un microorganismo cuya presencia es una evidencia de que el agua ha sido contaminada con heces fecales de humanos o animales de sangre caliente. Los organismos coliformes se encuentran entre los indicadores con los que más comúnmente se mide la calidad del agua.

2.2.4 Monitoreo biológico o biomonitoreo.

Es el uso sistemático de organismos vivos y su respuesta para determinar la calidad del ambiente acuático (Sandoval y Molina, 2000).

De la Lanza-Espino (2000) indica que para algunos autores el método biológico juega un papel importante en la interpretación y manejo del recurso hídrico por ciertas ventajas, dentro de las cuales está su nivel integrativo y su bajo costo.

El mismo autor define un indicador como un organismo selecto por el grado de sensibilidad o tolerancia a diversos tipos de contaminación o sus efectos. Frecuentemente se usan macroinvertebrados (insectos) como indicadores por su fácil colecta, manejo e identificación; además de que existe asociada a ellos, una mayor información ecológica.

Otra definición de especie indicadora en el monitoreo biológico se refiere a aquellos organismos que tienen requerimientos ecológicos particulares que deben tomarse en consideración para determinar la serie de variables físicas o químicas que están fuera de sus límites preferidos y que actúan sobre ellos ocasionando su presencia o ausencia, su variación en cantidad (número de organismos), sus alteraciones morfológicas y fisiológicas o modificando su desarrollo (Johnson, *et al.*, 1993).

Este método biológico de monitoreo de la calidad del agua puede usar desde el taxón, la familia, el género o incluso la especie, aunque existen dificultades frecuentes en el nivel específico y la mayoría de las veces no se cuenta con personal capacitado. Aunado a esto último, se requiere hacer observaciones en campo en las que a la hora de la colecta de las muestras se pueden definir el taxón o familia y no siempre asiste el especialista. Los organismos que se conservan para su identificación en el laboratorio frecuentemente pierden características físicas (como el color y ciertos rasgos morfológicos) útiles para su clasificación (De la Lanza- Espino, 2000).

Los científicos también descubrieron que el control biológico de los sistemas acuáticos puede ser valioso para a evaluación de la calidad del agua y la detección de contaminación. Los organismos acuáticos muestran una respuesta duradera a los episodios de contaminación intermitentes que no siempre se detectan mediante el control químico rutinario, que solo muestrea un volumen de agua relativamente pequeño en un momento dado. Los

organismos acuáticos también ofrecen datos sobre la calidad media del agua durante cierto período de tiempo, y pueden acumular y magnificar los niveles bajos de sustancias químicas que se sitúan más allá del punto de detección de los métodos de la química analítica, pero que sí se pueden analizar en los tejidos biológicos.

Los métodos biológicos también proporcionan información sobre el impacto de los contaminantes en la ecología del sistema, algo que los métodos químicos, si se aplican por separado, no pueden ofrecer. Sin embargo, la mayoría de las técnicas biológicas presentan el inconveniente de no ser capaces de medir exactamente la cantidad precisa de contaminantes y las concentraciones de sustancias químicas (Kiely, 1999).

2.3 Macroinvertebrados como bioindicadores de contaminación.

El término macroinvertebrado es un concepto práctico en función del tamaño, siendo considerados como macroinvertebrados los organismos que superan en la fase adulto o último estadio larvario los 2.5 milímetros. Este grupo incluye a los insectos.

Otros autores indican que los macroinvertebrados bentónicos son animales que habitan en el sustrato de los lagos, los cursos de agua, los estuarios y el agua marina (Bode *et al.*, 1991); coinciden en que la mayoría de las especies de macroinvertebrados de ríos son bentónicos; esto es, están asociados con

superficies del fondo del canal o cauce (por ejemplo, roca, sedimentos finos) u otras superficies estables (por ejemplo, árboles caídos, tocones, raíces y vegetación acuática emergida o sumergida) en lugar de estar habitualmente nadando libres.

Las comunidades bentónicas son conocidas por ser excelentes indicadores de la salud de un cuerpo de agua. La biota residente dentro de la corriente refleja los efectos integrados de sustancias de descarga intermitente, sustancias que reaccionan sinérgicamente entre sí, o sustancias presentes en niveles demasiado bajos para la detección química. Los macroinvertebrados bentónicos son monitores ideales dentro de la corriente, debido a su naturaleza sedentaria, su posición vital en la cadena alimenticia, y su facilidad de colección (Bode *et al.*, 1991).

El interés de los macroinvertebrados está justificado desde varios puntos de vista:

- a) Como eslabón fundamental en la cadena trófica, sirviendo de alimento a los peces, así como a las aves y anfibios asociados al medio acuático.
- b) Como indicadores biológicos de la calidad del agua.
- c) Como componentes del ecosistema acuático, aportando riqueza y diversidad (González y García, 1998).

La evaluación biológica rápida usando macroinvertebrados bentónicos ha sido el protocolo más difundido entre las Agencias Estatales de Recursos Hidráulicos (USA) desde 1989 (Barbour, Gerritsen, Snyder and Stribling, 1999).

Se discuten las siguientes ventajas del uso de macroinvertebrados como buenos indicadores: a) Tienen limitados los patrones de migración o un modo de vida sésil; pues son especialmente adecuados para evaluar los impactos específicos del sitio (estudios de aguas arriba y aguas abajo). b) Integran los efectos de las variaciones ambientales a corto plazo. c) La mayoría de las especies tienen un ciclo de vida complejo de aproximadamente un año o más. d) La etapa de vida sensible responderá rápidamente al estrés; la comunidad en general responderá más lentamente. e) Son relativamente fáciles de identificar a familia y muchos taxones "intolerantes" se pueden identificar a los niveles taxonómicos inferiores con facilidad y f) El muestreo es fácil, requiere unas cuantas personas y equipo económico, y tiene un mínimo efecto perjudicial sobre la biota residente.

No obstante, el empleo de bioindicadores también presenta limitaciones, tales como: el ajuste de índices bióticos para distintas regiones, el muestreo implica mayor tiempo, la información de cada bioindicador es cuantitativa y para la identificación taxonómica se requiere experiencia. Para obtener una evaluación integral será necesario realizar conjuntamente análisis fisicoquímicos o pruebas de toxicidad (Saldaña *et al.*, 2001). A criterio de otro autor, se deben considerar las dificultades cuantitativas de muestreo, el tipo de

sustrato y algunas especies transportadas en el agua en movimiento, considerando también que se debe conocer su ciclo de vida para la interpretación (Chapman, 1994).

En 1983, la Unidad de Biomonitorio de arroyos del estado de Nueva York desarrolló nuevos métodos de evaluación de la calidad del agua en los arroyos. Este desarrollo surgió de una necesidad de reducir el tiempo requerido para el muestreo, el análisis de las muestras, y la interpretación de los datos en el programa de muestreo de macroinvertebrados existente. También había una necesidad de simplificar el proceso de presentación de informes, y presentar los resultados y conclusiones de una manera más comprensible. El método desarrollado por el Dr. Karl Simpson y Robert Bode en 1983 y modificado en años posteriores llegó a ser conocido como el método de evaluación rápida (Bode *et al.*, 1991).

Los objetivos que se pueden conseguir por la rápida bioevaluación incluyen la detección de problemas de cuerpos de agua, dando prioridad a los problemas, la identificación de áreas específicas de impacto, la identificación de las descargas con problemas, y la identificación del tipo específico de estrés.

Las respuestas de la comunidad macroinvertebrada a las perturbaciones ambientales son útiles para evaluar el impacto de los residuos municipales, agrícolas, de la industria petrolífera y los impactos de otros usos del suelo sobre los cursos de agua superficiales. La contaminación orgánica grave suele

restringir la variedad de macroinvertebrados, quedando las más resistentes y da lugar al correspondiente aumento de densidad poblacional de los que toleran las condiciones contaminadas, normalmente una baja concentración de oxígeno disuelto. Por otra parte, el cieno y la contaminación química tóxica pueden no sólo reducir, sino incluso eliminar la comunidad macroinvertebrada completa en una zona afectada (AWWA, 1985).

2.4 Insectos indicadores de la calidad del agua.

La idea de usar la comunidad de insectos acuáticos para “indicar” el grado de pureza o contaminación de un cuerpo de agua tiene alrededor de medio siglo de antigüedad, de acuerdo con Lehmkuhl (1979). Esta idea está basada en la suposición de que sistemas acuáticos y sin disturbios tendrán una mayor diversidad de especies. La comunidad también incluirá especies sensibles con muy poca tolerancia hacia algún disturbio. En contraste, sistemas estresados ecológicamente tendrán comparativamente menos especies, aunque a menudo en grandes cantidades, mientras que las que sean sensitivas estarán ausentes.

En la actualidad, a nivel mundial existe una corriente ecológica encaminada a la protección del medio ambiente, de tal manera que algunos insectos son indicadores de perturbaciones ecológicas (Quiroz *et al.*, 1995).

Éstas son las características de los insectos para ser utilizados como indicadores de la calidad del agua: son obicuos y consecuentemente afectados

por perturbaciones en muchos hábitats acuáticos diferentes; tienen una amplia variedad de respuestas al estrés ambiental y por su naturaleza sedentaria permiten una evaluación efectiva espacial de las perturbaciones. Sin embargo, no responden directamente a todos los tipos de impacto; su distribución y abundancia se puede afectar por otros factores que no son propiamente de la calidad del agua (por ejemplo, la velocidad de la corriente o el tipo de sustrato); su abundancia y distribución varía estacionalmente, y tienen capacidad de dispersión a otras áreas donde normalmente no se presentaban. Algunos grupos de insectos carecen aún de identificación (Rosenberg y Resh, 1993).

No todas las especies que habitan en un sistema acuático pueden utilizarse como indicadores biológicos, pues para ello deben reunir características apropiadas que les permitan colonizar, desarrollarse y reproducirse bajo cierta calidad del agua. Idealmente, las especies indicadoras son aquellas que tienen tolerancias estrechas y un ambiente específico para vivir (Johnson *et al.*, 1993).

Para averiguar el grado de contaminación de un cuerpo de agua es imprescindible utilizar ciertos organismos que sirvan como indicadores en el monitoreo biológico, tomando en cuenta ciertas características particulares que deben poseer. Merrit y Cummins (1996) señalaron que los insectos son los organismos usados con mayor frecuencia para determinar la calidad del agua, debido a que son afectados por perturbaciones en muy diferentes tipos de hábitat acuáticos; además, se les puede encontrar en todas las partes y también se ha señalado que un gran número de sus especies presenta un

rango estrecho de respuesta al estrés ambiental; además, debido a su naturaleza sedentaria, permiten la determinación efectiva del grado de perturbación; presentan ciclos de vida largos, en relación con otros organismos; permiten cambios temporales en sus características, así como en abundancia y estructura de edad; por último, son fáciles de coleccionar y de tamaño suficiente para ser observados a simple vista.

Existen también algunas características de los insectos acuáticos que pueden impedir su uso efectivo como indicadores biológicos: a) No responden directamente a todos los tipos de impacto. b) Su distribución y abundancia puede verse afectada por otros factores que no tengan que ver con la calidad del agua. c) Su abundancia y distribución son temporales y d) Su habilidad para dispersarse puede llevarlos dentro y fuera de áreas donde normalmente no se observan (Quiroz-Martínez y Rodríguez-Castro, 2006).

Sandoval y Molina (De la Lanza Espino, 2000) refieren que dentro del estudio de los insectos acuáticos, uno de los objetivos más importantes es el uso como indicadores de perturbación en los ecosistemas acuáticos de agua dulce, si se consideran en un sistema de monitoreo biológico. Dicho planteamiento está basado en una serie de características que les permite ubicarse por encima de otros grupos biológicos de igual importancia (Rosenberg y Resh, 1993), ya que los insectos acuáticos se encuentran entre casi todos los hábitats posibles, por lo que se ven afectados en distintos niveles y estratos del sistema.

Los insectos acuáticos se pueden utilizar a distintas escalas dentro del monitoreo biológico que, de acuerdo con el tipo de análisis, permiten llegar a conclusiones que establezcan los destinos y los usos del agua. De esta forma, se plantean estudios de especies monitores y centinelas, con respuesta desde el punto de vista bioquímico y fisiológico a sustancias tóxicas como plaguicidas, que llegan a alterar el metabolismo de los individuos afectando su sistema respiratorio, y entre otros casos, llegando a bioacumular metales pesados en sus tejidos. Mientras que el análisis dentro del ámbito morfológico se expresa por malformaciones en sus estructuras, como consecuencia de la exposición continua a dichas sustancias tóxicas, según Sandoval y Molina (De la Lanza-Espino, 2000).

Los estudios a nivel de comunidad permiten establecer diagnósticos tempranos y económicos en dicha evaluación. Este concepto está basado en el hecho de esperar una alta diversidad en un ecosistema acuático sin perturbación, por lo que este análisis se estructura con base en la riqueza de taxa, índices de diversidad, índices bióticos, índices de similitud y análisis en los grupos funcionales alimenticios. También se pretende de esta manera encontrar o seleccionar las especies indicadoras para aplicar un monitoreo permanente que permita conocer los cambios paulatinos en la recuperación o deterioro de un cuerpo de agua, dada la presencia, ausencia y cambio en la abundancia numérica de estas especies

En la búsqueda de la selección de especies indicadoras se debe tomar en cuenta la gran diversidad de insectos acuáticos en México, por lo que se deben considerar los criterios a nivel regional; o bien, por provincias geográficas.

De la Lanza-Espino (2000) hizo una revisión que tiene como objetivo la propuesta de algunos métodos para la evaluación de la calidad del agua, así como también ser una guía de campo y laboratorio en el reconocimiento de los géneros de insectos acuáticos que ocurren en el país México. Menciona el grado de tolerancia a la contaminación, teniendo de esta manera taxas tolerantes, facultativos e intolerantes.

Hilsenhoff (1991), habló sobre la importancia de algunos órdenes de insectos para estudios relacionados con monitoreos biológicos, los cuales se mencionan a continuación: la mayoría de las náyades de Ephemeroptera son conocidas por sus altos requerimientos de oxígeno disuelto en el agua en donde se desarrollan, pero existen dentro de este orden algunas excepciones; por ejemplo la Familia Caenidae que comparada con otras, es generalmente más tolerante a los bajos niveles de oxígeno; las Ephemerelellidae por lo general habitan ríos limpios, también existen algunas especies que pueden persistir en ríos enriquecidos orgánicamente; las larvas de Tricorythidae son ampliamente distribuidas y se les encuentra en el detritus, cieno y grava donde algunas especies resisten bajos niveles de oxígeno disuelto.

Worf (1980) indicó que en un agua “limpia” puede encontrarse una gran abundancia de especies caracterizadas por efímeras, tricópteros y plecópteros, además de dípteros. En áreas contaminadas generalmente se encuentran algunas especies que normalmente se observan en un agua limpia, pero con una composición cualitativa y cuantitativamente diferente.

Kiely (1999) señala que se puede inferir de la presencia de organismos intolerantes o sensibles conocidos (por ejemplo, las moscas y efémeras de ríos y corrientes) que el agua es de una calidad lo suficientemente aceptable para permitir la vida acuática normal (por ejemplo, elevados niveles de oxígeno y por tanto poca contaminación orgánica). La ausencia de estas especies y la presencia de un elevado número de organismos tolerantes conocidos indicarían agua contaminada.

Los métodos de monitoreo reconocen que diferentes grupos de invertebrados toleran contaminación orgánica en un menor o mayor grado y que sus diferentes respuestas pueden usarse para indicar la calidad del agua. Por ejemplo, en los ríos, grupos de invertebrados como las larvas de Plecoptera y Ephemeroptera mostraron ser intolerantes a la contaminación, mientras que especies particulares de larvas de mosquitos chironomidos, sobreviven en ambientes rayan en la anoxia (Hodkinson y Jackson, 2005).

Hilsenhoff (1991), refiere que del orden Diptera en la Familia Chironomidae las larvas de la mayoría de las especies son tolerantes a bajos niveles de

oxígeno y que algunas pueden sobrevivir en áreas donde sus niveles son tan bajos que no pueden ser detectados. Los “gusanos de sangre”, que son especies con hemoglobina, pueden presentarse en abundancia en lagunas de aguas cloacales o en áreas de lagos y arroyos contaminados orgánicamente.

El orden Diptera es uno de los más grandes, está muy evolucionado y biológicamente es el más diverso. Incluye una serie de familias cuyas fases inmaduras son acuáticas, algunas de las cuales tienen adultos que pican y chupan sangre de mamíferos transmitiendo importantes enfermedades (González y García, 1998). Los dípteros de la familia Simuliidae son representantes de agua muy limpia, mientras que dípteros de las familias Tipulidae y Chironomidae habitan más en el agua contaminada (Fernández y Domínguez, 2001).

La familia Chironomidae es una de las más importantes en los ecosistemas acuáticos, por su riqueza faunística, su ancho espectro ecológico y por las grandes densidades en que aparecen ciertas especies. *Chironomus* puede vivir en tramos contaminados, resistiendo las condiciones de anoxias en el agua mediante el aumento de la concentración de la hemoglobina en su hemolinfa, lo que les da una coloración rojiza (González y García, 1998; AWWA, 1985). Entre los factores que controlan la distribución espacial de *Ch. plumosus* se reportó la temperatura, el oxígeno disuelto, el manganeso y los sulfatos (Slavevska *et al.*, 2013)

Los Syrphidae son dípteros soportan condiciones de anoxia total del agua, por lo tanto, toleran hábitats contaminados. (Hilsenhoff, 1991; González y García, 1998).

Margalef (1982) hace mención que *Chaoborus* es depredadora en lagos ricos orgánicamente, mientras que Ephemeroptera se encuentra en el agua corriente y permanente con oxígeno suficiente. La familia Psychodidae también tolera hábitats contaminados Hilsenhoff (1991).

La mayoría de los tricópteros viven en el agua corriente, limpia y oxigenada, debajo de piedras, troncos y material vegetal acumulado. Algunas especies viven en agua quieta y remansos de ríos y quebradas (Domínguez *et al.*, 2001).

Para Roldán (1996) los lepidópteros viven en aguas muy oxigenada de curso rápido, bajo telas sedosas tejidas sobre superficies de rocas sumergidas y se alimentan de algas. Algunos viven adheridos a plantas acuáticas. Son indicadores de agua oligotrófica. Merrit y Cummins, (1996) comentan que la especie *Petrophila confusalis* fue encontrada en aguas de arroyos y lagos bien oxigenados, contrario a lo que sucede son *P. jaliscalis*, que puede sobrevivir en lugares que reciben enriquecimiento orgánico, además de tener temperaturas relativamente altas y reducida velocidad del agua, se le asocia con arroyos intermitentes.

El orden Odonata incluye los insectos denominados como libélulas o caballitos del diablo, que se les encuentra en aguas limpias o ligeramente eutroficadas (Roldán, 1996). Como organismos de aguas limpias o claras los cataloga también Hilsenhoff, (1991). Señala que en las especies del suborden Zygoptera algunas pueden vivir en agua con niveles de oxígeno relativamente bajos.

Los efemerópteros viven por lo regular en agua corriente, limpia y bien oxigenada, aunque algunas pocas especies pueden resistir moderados grados de contaminación orgánica. Los géneros más representativos para el neotrópico son *Baetis*, *Baetodes*, *Dactylobaetis*, *Lachlania*, *Thraulodes*, *Leptohyphes*, *Tricorythodes*, *Euthyplocia* y *Campsurus* (Roldan, 1996). Hilsenhoff, (1991) considera que la mayoría de las náyades de Ephemeroptera son conocidas por sus altos requerimientos de oxígeno disuelto en el agua donde se desarrollan, aunque existen algunas excepciones; por ejemplo, la familia Caenidae, que comparada con otras, es generalmente más tolerante a los bajos niveles de oxígeno; en Ephemerellidae, aunque la mayoría habita en ríos sin impacto, existen especies que pueden persistir en ríos enriquecidos orgánicamente; las larvas de Tricorythidae son ampliamente distribuidas y se les encuentra en detritus, cieno y grava, donde algunas especies resisten bajos niveles de oxígeno disuelto. Callibaetis puede tolerar condiciones bajas de oxígeno disuelto.

Los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera son los dominantes e indicativos de aguas clara, limpia y bien oxigenada; sin embargo, hacia las regiones tropicales la distribución, diversidad y abundancia de los insectos pertenecientes al orden Plecoptera se ve disminuida (Quiroz y Rodríguez, 2006).

En el caso del orden Plecoptera, sus náyades son típicas de los ríos en zonas montañosas y unas pocas especies están adaptadas a vivir en lagos fríos y oligotróficos; sin embargo, no toleran bajos niveles de oxígeno (Hilsenhoff, 1991).

Sobre los coleópteros cuya opción respiratoria es el plastrón (adultos de Elmidae, Dryopidae, etc.), la mayoría habitan en agua bien oxigenada y de movimiento rápido y son muy sensibles a los contaminantes que actúan como agentes humectantes (Quiroz-Martínez y Rodríguez-Castro, 2006).

De la Lanza Espino (2000) cataloga a los insectos en tres categorías: tolerantes a la contaminación orgánica, intolerantes a la contaminación orgánica y facultativos, considerando a aquellos que toleran la contaminación moderada (Tabla 1).

Clements (1994) comentó que los estudios en comunidades bentónicas están basados en las observaciones de algunos efemerópteros, plecópteros y tricópteros, debido a que son sensibles a los contaminantes.

Se hace énfasis en que no se debe generalizar el uso de bioindicadores con base en los resultados obtenidos en otras regiones; a pesar de que la bibliografía señala constantemente que los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera son los más utilizados para este fin, se ha apreciado que no son del todo aplicables para amplias regiones y entre las limitantes que hasta este momento se han determinado está la distribución de los géneros y/o especies que en otras latitudes han sido implicadas en esta categorización, así como la adaptabilidad a las condiciones adversas que confiere el ciclo de vida, el tiempo de desarrollo, el potencial de reproducción y otras características más de los insectos (Quiroz-Martínez y Rodríguez-Castro, 2006).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 1. Clasificación de los insectos según su tolerancia a la contaminación.

Familia	Géneros representativos	Son organismos (categoría)
Hydrophilidae "Escarabajos basureros"	<i>Berosus</i> sp., <i>Tropisternus</i> sp.	Facultativos
Psephenidae "Escarabajos moneda"	<i>Psephenus</i> sp.	Intolerantes a la contaminación
Chironomidae "Mosquitos enanos"	<i>Ablabesmyia</i> sp., <i>Tanypus</i> sp., <i>Chironomus</i> sp., <i>Tanytarsus</i> sp.	Tolerantes a la contaminación orgánica e inorgánica como metales pesados.
Culicidae "Zancudos"	<i>Anopheles</i> sp., y <i>Culex</i> sp.	Tolerantes a la contaminación orgánica.
Ephydriidae "Moscas de la orilla"	<i>Brachydeutera</i> sp., <i>Ephydra</i> sp., <i>Coenia</i> sp.	Tolerantes a la contaminación orgánica.
Psychodidae "Moscas nocturnas",	<i>Psychoda</i> sp.	Tolerantes a la contaminación orgánica.
Syrphidae "Moscas cola de ratón"	<i>Eristalis</i> sp.	Organismos tolerantes a la contaminación orgánica
Stratiomyidae "Moscas soldado acuáticas"	<i>Stratiomys</i> sp.	Tolerante a la contaminación orgánica.
<i>Tabanidae</i> "Moscas de establo"	<i>Tabanus</i> sp.	Tolerante a la contaminación orgánica.
Tipulidae	<i>Antocha</i> sp., y <i>Cryptolabis</i> sp.	Intolerantes a la contaminación orgánica
Baetidae "Moscas de mayo"	<i>Baetis</i> sp.	Facultativos
Belostomatidae "Chinches gigantes del agua"	<i>Abedus</i> sp., <i>Lethocerus</i> sp., y <i>Belostoma</i> sp.	Facultativos
Naucoridae "Chinches acuáticas trepadoras"	<i>Ambrysus</i> sp.	Intolerante a la contaminación orgánica.
Pyralidae "Orugas acuáticas"	<i>Petrophila</i> sp.	Intolerante a la contaminación orgánica.
Coenagrionidae "Caballitos del diablo de alas angostas"	<i>Argia</i> sp.	Facultativos
Gomphidae "Dragones con cola circular"	<i>Erpetogomphus</i> sp.	Tolerante a la contaminación orgánica.
Hydropsychidae (Hiladores de redes comunes)	<i>Smicridea</i> sp.	Facultativos

2.5 Insectos Acuáticos como Factores de Riesgo en la Salud Humana

Los insectos pueden actuar como vectores biológicos capaces de incubar y multiplicar en su cuerpo diversos microorganismos que posteriormente podrían ser la causa de enfermedades en el humano y en los animales. También pueden actuar como patógenos que se desarrollan en aguas contaminadas, condición que les da una cualidad de vectores mecánicos de bacterias causantes de enfermedades gastrointestinales (Quiroz-Martínez y Rodríguez-Castro, 2006).

Un factor de riesgo es toda circunstancia de una persona o grupo de personas que se sabe están asociadas con un incremento en la probabilidad de padecer, desarrollar o estar vulnerable a una enfermedad; pueden ser clasificados como biológicos, ambientales, económicos, sociales y culturales (Rodríguez-Castro, 2010).

Tebbut, (1994) comenta que hay varias enfermedades propagadas por insectos que se multiplican o se alimentan cerca del agua y su incidencia se relaciona con la proximidad de fuentes de agua adecuadas. La infección de estas enfermedades no está relacionada con el consumo humano del agua o con su contacto. Los mosquitos que transmiten el paludismo y algunas otras enfermedades proliferan en el agua estancada y poco profunda de los pantanos, en las orillas de los lagos y en los recipientes donde se almacena agua (Tebbut, 1994).

La humanidad se ha visto seriamente afectada por varias enfermedades transmitidas por los insectos, entre ellas se pueden destacar: la malaria, la fiebre amarilla, el dengue, diversos tipos de encefalitis, la filiarisis y la oncocercosis. En los últimos años, especialmente la parte norte del Continente Americano se encuentra amenazada por el virus del Oeste del Nilo (Quiroz *et al.*, 2006).

Asociadas con aguas contaminadas están muchas especies pertenecientes a los géneros *Culex* y *Culiseta*, varias de ellas incriminadas peligrosamente en la transmisión de virus causantes de encefalitis y filiarisis, potencialmente vectores del virus del Oeste del Nilo. Entre los zancudos o mosquitos más comunes e importantes que se pueden encontrar en agua enriquecida con materia orgánica está el complejo de especies formado por *Culex pipiens*. Las enfermedades relacionadas con la picadura de mosquitos son: la encefalitis equina del Este, cuyo vector es *Culiseta melaneura* y que tiene como reservorio varias especies de aves; la encefalitis equina del Oeste con el mosquito *Culex tarsalis* como transmisor y las aves como reservorios; la encefalitis de San Luis, transmitida por *Cx. quinquefasciatus* y *Cx. tarsalis*, enfermedad de la cual también las aves son reservorios. Finalmente, el virus del Oeste del Nilo, cuyo vector es una de las especies más comunes del agua contaminada, el *Cx. pipiens* y que tiene como reservorio dos de las aves más comunes de encontrar, como son los cuervos y las urracas.

De la familia Psychodidae, a *Psychoda* y *Telmatoctopus* se les relaciona con una enfermedad conocida como pseudomiasis y, además, se les ha atribuido la transmisión mecánica de nematodos al ganado y están estrechamente asociadas con las plantas de tratamiento de aguas residuales y las fosas sépticas.

La familia Chironomidae está asociada con agua contaminada, también se le conoce como quironómidos o gusanos de sangre y su presencia está estrechamente relacionada con la contaminación con metales pesados. No son capaces de transmitir enfermedades al hombre pero a los adultos se les relaciona con reacciones alérgicas como asma, rinitis y conjuntivitis (Quiroz *et al.*, 2006).

Las moscas *Simulium*, transmisoras de las oncocercosis (ceguera de río) se crían en aguas turbulentas de los rápidos, caídas de agua, etc.

Tabanidae, es una familia de dípteros que incluye especies acuáticas y terrestres, conocidas comúnmente como tábanos, moscardones, moscas de los caballos y de los venados, se encuentran en aguas contaminadas (Borrer *et al.*, 1989). Los tábanos se han vinculado en la transmisión de varias enfermedades de importancia médico-veterinaria, como anaplasmosis, ántrax, tularemia y leucemia bovina (Quiroz *et al.*, 2006).

2.6 Investigaciones para determinar la calidad de los sistemas acuáticos utilizando bioindicadores de contaminación

Se hizo un estudio con la finalidad de aplicar el Índice Biótico de Hilsenhoff (IBH) en las cuencas de Copalita, Zimatán, Coyula, Oaxaca, en las partes alta, media y baja de cada río utilizando insectos acuáticos con el apoyo de las observaciones *in situ*. Para el muestreo utilizaron una red para bentos tipo “D”. Se recolectaron 4, 828 ejemplares, identificándose a nivel de orden, familia y género, en los grupos donde fue factible. De acuerdo con el IBH las cuencas altas, medias y bajas de los ríos fueron de buena calidad. La presencia de los grupos Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera indicó un nivel aceptable de la calidad del agua (Bárbara-Álvarez, *et al.*, 2013).

Con el propósito de medir el estado de salud ecológico del río Lliquino, uno de los afluentes del río Pastaza, en el oriente ecuatoriano, se monitorearon sus aguas utilizando macroinvertebrados como indicadores de la calidad ambiental, por un período de cinco años consecutivos (2008 – 2012). Se utilizó una red “D” para la colecta del material biológico y las muestras fueron preservadas con una solución de alcohol al 70%, se trasladaron al laboratorio donde se separaron e identificaron. Paralelamente se tomaron muestras de agua para medir la conductividad, el oxígeno disuelto, los sólidos totales en suspensión y el pH del agua. Se procedió a determinar el estado de salud del ambiente acuático mediante la aplicación del índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera). El resultado indicó que la salud del río se mantiene en buenas

condiciones, a pesar de la extracción de material pétreo en la zona. Se registró la presencia y dominancia de especies indicadoras de buena calidad ambiental, como son las especies correspondientes al grupo de los Ephemeroptera (*Mayobaetis* sp., *Farrodes* sp., *Leptohyphes* sp.), Trichoptera (*Smicridea* sp., *Chimarra* sp.), Plecoptera (*Anacroneuria* sp.) y Megaloptera (*Corydalus* sp.). En relación con la físico-química del agua de los parámetros básicos, los valores promedio del pH, el oxígeno disuelto, los sólidos totales disueltos y la conductividad, se encontraron dentro de los límites permisibles para sistemas ecológicos de aguas naturales según el Texto Unificado de Legislación Ambiental Ecuatoriana (Terneus, E., Hernández, K., y Racines, M. 2012).

Sutherland, Culp y Benoy, (2012) realizaron un estudio en 15 pequeños arroyos en New Brunswick, Canadá, para evaluar qué indicadores de sedimentos depositados y para macroinvertebrados son los mejores para determinar los impactos de la sedimentación derivada de actividades antropogénicas en la integridad biótica de los arroyos.

Se realizó para este estudio trabajo de campo consistente en coleccionar macroinvertebrados bentónicos dentro de zonas rápidas dentro de los 15 arroyos objeto de estudio. Se usó una red para bentos con marco en "D" de 250 µm. Después de la recolección, las muestras fueron preservadas con 10% de formol y enviadas al laboratorio para su identificación. Las muestras de bentos fueron sub-muestreadas con un dispositivo Marchant. Las celdas del dispositivo

Marchant fueron muestreadas aleatoriamente y procesadas hasta ordenar al menos 300 organismos del sustrato bajo un microscopio estereoscópico. Los organismos obtenidos fueron identificados hasta el nivel taxonómico práctico más bajo posible. Fueron colectadas 70 familias de macroinvertebrados entre los 15 arroyos estudiados. Las métricas de sedimento depositado y los datos de cobertura de los arroyos fueron comparados con un grupo de 35 métricas e índices de macroinvertebrados.

Ekingen y Kazanci (2012) realizaron un estudio en nueve sitios seleccionados en el Arroyo Aksu y sus tributarios, en Turkía. Realizaron colectas de macroinvertebrados bentónicos, midieron las concentraciones de nitritos, nitratos, amonio y sulfatos y se tomaron los valores de oxígeno disuelto así como la temperatura del agua. Se registró la vegetación riparia, la estructura del sustrato, y la anchura del cuerpo de agua, en una temporada “normal” y en temporadas secas. Para evaluar la calidad del hábitat en el arroyo se usaron los índices de diversidad Shannon-Weinner, de diversidad de Simpson, BMWP, ASPT, número de taxas y numero de taxas EPT. De acuerdo con los resultados de las diferentes evaluaciones realizadas todos los sitios se clasificaron como de buena calidad de agua.

La evaluación del estatus ecológico del cuerpo de agua se realizó con el uso de variables de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y fisicoquímicas, de acuerdo con sus resultados, seis de los nueve sitios fueron descritos como sitios de referencia (sitios con pocos o ningún disturbio), otros

tres sitios se consideraron como de no referencia; sin embargo, éstos tuvieron buena calidad de agua.

Se evaluó la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada Vegas de la Clara, Antioquía, Colombia y se analizó su dinámica durante cinco años (2005-2009). Se encontraron 59 géneros incluidos en 38 familias y cuatro phyla. Los odonatos y tricópteros fueron los órdenes más abundantes con un 20.7% del total cada uno. Se capturaron 1018 organismos y las familias Hydropsychidae (23.4%), Veliidae (11.8%) y Perlidae (9.2%) representaron un 44.4% de todos los organismos encontrados. Aunque el agua presentó una buena calidad biológica, se observó una disminución gradual en la calidad del agua, reflejada en la disminución del número de géneros registrados, disminución en los índices de diversidad, equidad y un aumento en el índice de dominancia. Un aumento en la concentración de fósforo favoreció la consolidación de un ensamblaje más tolerante al incremento en la carga de materia orgánica, a la mineralización, y el predominio de las familias antes mencionadas (Montoya, M. Y., Aguirre, R. N, Caicedo, O., y Palacio, J., 2010).

Orendt, Wolfram, Adámek, Jurajda y Schmitt-Jansen (2012) investigaron comunidades de macroinvertebrados a lo largo de un gradiente de contaminación industrial y municipal en el río Bílina, en la República Checa. El objeto de su estudio fue investigar las comunidades de invertebrados a través del gradiente de contaminación en el río Bílina y elaborar los factores responsables para la respuesta de la comunidad a la contaminación general, a

lo largo del arroyo. Señalaron que numerosos estudios han utilizado macroinvertebrados para trazar las fuentes y grado de la contaminación o para monitorear la degradación o recuperación de un arroyo.

La abundancia taxonómica fue estimada en 7 clases (1= grupos con un solo registro, a 7= grupos altamente abundantes). Se determinó la riqueza de especies y el número EPT para describir la estructura de la comunidad y la contaminación orgánica. Las diferencias encontradas entre las diferentes estaciones en cuanto a sulfuros, conductividad y otros iones, como los principales contribuyentes en las diferencias geográficas encontradas, sugiriendo con esto que la afluencia de cargas inorgánicas recibidas en el punto de muestreo en el km 53.2 generado por el poblado llamado Litvínov y la refinería Chemopetrol Litvínov Co., es el principal contribuyente de contaminación en este río. *Chironomus riparius* estuvo fuertemente ligado a las pobres condiciones ambientales en los sitios contaminados, mientras que *Hydropsyche angustipennis* y *Glyptotendipes pallens* (ambos organismos filtradores) mostraron preferencia por lo sitios de referencia, pues no fueron registrados en otros sitios.

Sinitean y Petrovici (2012) realizaron un estudio en el río Crisul Repede, en el oeste de Rumania, en una extensión de 107 Km, durante tres años. Durante este período en las estaciones de primavera, verano y otoño realizaron muestreos de los invertebrados acuáticos asociados al bentos por medio de

una red de muestreo de bentos Surber, con tres réplicas por estación. Una vez identificado el material biológico, se aplicaron los índices bióticos: abundancia EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), EPT/población total, abundancia de Chironomidos; finalmente, abundancia EPT/abundancia de Chironomidos, abundancia total, y porcentaje de abundancia de larvas de Chironomidos. Los índices calculados resaltaron que la intensidad del proceso de degradación de la calidad del agua del río en estudio es muy fuerte y visible, por el incremento en la predominancia de grupos taxonómicos que no requieren una especial condición ecológica, comprobando su resistencia y proliferación en presencia de agua muy contaminada.

Girgin (2010) hizo una investigación para evaluar la distribución de macroinvertebrados bentónicos en el arroyo Kesap (Giresun, Turquía) usando indicadores bióticos. Estableció seis sitios de muestreo, encontrando un total de 123 individuos pertenecientes a géneros de macroinvertebrados bentónicos; entre otros, de los órdenes Mollusca, Ephemeroptera, Plecoptera, Odonata, Coleoptera, Trichoptera y Diptera. En el muestreo utilizó una red para bentos tipo "D", realizándose en diferentes hábitats, para reflejar las características de cada concepto (flujo, sustrato, vegetación del banco, áreas de sombra e iluminadas, etc.). Aplicó el índice de diversidad de Shannon. De acuerdo a los resultados obtenidos, el arroyo se categorizó como moderadamente impactado.

Durán (2006) usó la riqueza biológica de la comunidad de macroinvertebrados para evaluar la calidad del agua en el arroyo Behzat, que

recibe descargas de origen urbano. Estableció cinco sitios de muestreo sobre el cauce del arroyo y efectuó muestreos mensuales por cuatro años. En el campo obtuvo mediciones de temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y pH, mediante el uso de un equipo portátil. Aplicó los siguientes índices bióticos: Índice Extendido de Trent (ETBI), Índice Biótico Belga (BBI) e Índice de Chandler (CS). De acuerdo con la riqueza biológica y con los parámetros fisicoquímicos, la sección superior del arroyo Behzat la categorizó como Clase I (agua de alta calidad), con una alta riqueza de especies dominadas por el grupo Ephemeroptera, Odonata, Diptera y Coleoptera. Resaltó que en el verano la fauna de macroinvertebrados llegó a ser dominada por *Chironomus* y *Nais*. La sección baja del arroyo se categorizó como Clase II (ligeramente contaminado), hubo presencia de *Chironomus* y *Baetis* entre otros, además de concentraciones elevadas de nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos fosfatos y Demanda Química de Oxígeno.

Figueroa, Valdovinos, Araya y Parra (2003) hicieron un estudio en la cuenca hidrográfica del río Damas, en Chile. Colectaron macroinvertebrados acuáticos asociados con el bentos en 14 estaciones distribuidas en el cauce principal de la cuenca y sus tributarios. Aplicaron el Índice IBF (Índice Biótico de Familias) que clasifica la calidad de agua de un río con base en el tipo de familias taxonómicas presentes en un tramo del río. La cabecera de la cuenca presentó valores que la clasificaron como “excelente”, en contraste con el cierre de la misma, donde los valores la clasificaron como “muy mala”. Los puntajes del

IBF obtenidos en cada estación fueron correlacionados con valores de la calidad del agua y se observó una correlación positiva entre el IBF y las variables fósforo total, temperatura, nitrito, conductividad, DBO y nitrógeno total; y, negativamente, con oxígeno disuelto, las cuales son variables estrechamente ligadas con la actividad agrícola y ganadera. No existió una correlación significativa con las variables pH, turbidez, color, sólidos suspendidos y Demanda química de oxígeno (DQO).

Para identificar los insectos acuáticos que habitan en agua con diferentes niveles de contaminación, determinar la diversidad de las comunidades de insectos a través de todo el río y el efecto de la precipitación pluvial en los patrones anuales de abundancia de los insectos, se realizaron muestreos de la comunidad de insectos y las variables fisicoquímicas en el cauce del río Curundú (República de Panamá). El grado de contaminación se determinó con base en bioquímica de oxígeno, pH, oxígeno disuelto y temperatura del agua.

Se encontraron 57 taxa, 51 géneros y 7100 insectos. Los géneros *Chironomus*, *Polypedilum* y *Paramerina* de la familia Chironomidae, representaron el 73% del total de insectos. La mayor parte de los insectos se encuentran asociados con niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), entre 7.4 y 13.05 mg/l. Se observó una dependencia entre la DBO y los géneros de insectos. La diversidad de insectos disminuyó desde la cabecera del río hasta su desembocadura, contrario a esto, la DBO fue mayor en la parte

final del río. La concentración promedio de oxígeno disuelto registrada en el río estuvo por debajo de los 5.0 mg/l, considerado como requisito mínimo para sustentar la vida acuática. La precipitación pluvial tuvo una relación lineal inversa con la abundancia de insectos (Medianero, E. y M. Samaniego, 2004).

En un estudio realizado en el Río Arkansas, en Colorado, USA, se compararon localidades antes y río abajo, a partir del sitio de descargas contaminantes, encontrando que la composición de la comunidad bentónica fue alterada significativamente río abajo, después del sitio de descarga. Este cambio se debió al reemplazo de especies de insectos sensibles (Ephemeroptera “moscas de mayo”) por especies tolerantes (Trichoptera “moscas de cadis”, Orthocladinae y Chironominae “mosquitos”) río abajo (Clements and Kiffney, 1994).

Hoiland, Rabe y Biggman, (1994) publicaron un artículo sobre un estudio realizado por el Instituto de Investigación de Aguas Residuales y el Departamento de Ciencias Biológicas en la Universidad de Idaho, USA, sobre la recuperación de macroinvertebrados por contaminación de metales en el Río Coeur d’Alene, Idaho. Las comunidades bentónicas se analizaron usando el Índice de diversidad de Shannon-Weinner y el Índice Ephemeroptera-Plecoptera y Trichoptera (EPT). Concluyeron que los sitios impactados tenían considerablemente más baja riqueza taxonómica, diversidad de especies y valores EPT.

Los primeros esfuerzos por determinar el daño ecológico causado por los residuos domésticos e industriales en las corrientes de agua se analizaron por Kolkwitz y Marsson (1908, 1909), creando de esta manera la base del sistema saprobio, ampliamente utilizado actualmente en Alemania y algunos países europeos. Ellos desarrollaron listas de organismos que fueron asociados con varias zonas de contaminación, diferenciadas de acuerdo con el grado de autopurificación de materia orgánica en el sistema. El estudio está basado en la presencia de más de 300 especies incluidas en diferentes categorías taxonómicas, que se dividieron en las zonas Polisaprobia, Mesosaprobia y Oligosaprobia. La mayor importancia de los sistemas sapróbicos fue la introducción del amplio concepto de organismo indicador (Worf, 1980 y Roldán, 1999).

2.7 Estudios regionales para determinar la calidad de los sistemas acuáticos mediante bioindicadores de contaminación.

Compeán-Ortíz, (2012) realizó un estudio retrospectivo de la calidad del agua mediante el análisis de la presencia de insectos acuáticos en el río Salinas, municipio de General Zuazua, Nuevo León. Comparó las comunidades de insectos acuáticos en un tramo del río para conocer la calidad de agua tomando como base un estudio realizado en la misma área diez años atrás. Aplicó los índices de Shannon-Weinner, valor EPT, índice de Margalef y Kolmogorov-Smirnov para determinar la diversidad, la riqueza y los insectos indicadores de calidad. Categorizó el área de estudio como polisaprobia y reportó 24 géneros indicadores de contaminación. En el período de 1998-1999 se clasificó de calidad mesosaprobia (Ramírez-Freire, 2000), considerando doce géneros indicadores de la calidad de agua, cuatro del estado polisaprobio y ocho del estado mesosaprobio.

En el estado de Nuevo León se efectuó un estudio de biomonitoreo de la calidad del agua del río Pesquería mediante insectos acuáticos. La colecta se realizó en seis localidades, con una red bentónica; posteriormente se trasladó el material al laboratorio para su proceso curatorial e identificación. Los insectos indicadores de sistemas polisaprobios encontrados fueron: la mosca de mayo *Callibaetis* sp., el caballete *Enallagma civile*; el escarabajo *Tropisternus lateralis*; el ceratopogónido *Sphaeromias* sp.; los mosquitos enanos *Meropelopia* sp., *Chironomus plumosus* y *Ablabesmyia* sp. Las

especies consideradas de riesgo entomológico incluyeron al mosquito enano *Ch. plumosus* causante de asma, rinitis, alergias respiratorias y dermatitis por contacto; además de los culícidos *Anopheles pseudopunctipennis*, *Culex pipiens* y *Cx. coronator*, transmisores de enfermedades como malaria, encefalitis y virus del oeste del Nilo. Los Índices de diversidad y riqueza aplicados determinaron que la calidad del agua del Río Pesquería fue Polisaprobia y se categorizó como severamente impactado, según el criterio de Índice de riqueza de especies, Índice ETP y el Índice Biótico de Hilsenhoff (Rodríguez-Castro, 2010).

Se reportaron varias especies que representan un riesgo para la salud en un estudio realizado en el Río Pesquería, durante el período de mayo de 2001 a mayo de 2002. Los resultados indicaron la presencia de 10 familias de dípteros acuáticos, de los cuales Chironomidae, Culicidae y Psychodidae representaron un factor de riesgo para la salud. La familia Chironomidae predominó con *Chironomus plumosus*, mosquito relacionado con enfermedades del sistema respiratorio; Culicidae en segundo lugar, integrada por *Anopheles pseudopunctipennis*, vector de la malaria y 4 especies del género *Culex* (*Cx. coronator*, *Cx. erraticus*, *Cx. interrogator* y *Cx. quinquefasciatus*) asociadas como transmisoras de encefalitis y, en tercer lugar, Psychodidae, con *Psychoda* sp. (Rodríguez-Castro, et al., 2004).

Se realizó una evaluación de la calidad del agua en el Río La Silla mediante el análisis de la diversidad y abundancia de insectos acuáticos, por Peña (2005). Comprendió las secciones correspondientes a los parques “Ecológico La Silla”, “Pipo” y “Tolteca”, pertenecientes al municipio de Guadalupe, Nuevo León. Realizó muestreos quincenales con una red entomológica bentónica y el material colectado fue colocado en whirl packs agregando alcohol etílico al 96% como agente letal y preservador. Encontró que la calidad del agua en el Río La Silla fue de calidad moderada y los órdenes más representativos fueron Diptera, Ephemeroptera, Trichoptera y Odonata. El Parque Ecológico La Silla presentó el menor impacto: se encontró mayor diversidad y riqueza de taxas, los efemerópteros y tricópteros abundaron. Los parques Pipo y Tolteca fueron los más impactados, gracias al disturbio causado por los visitantes. Se colectó solo una larva del género *Culex*, mosquito transmisor del virus del oeste del Nilo, lo cual indica un mínimo riesgo para la salud de los humanos.

Hernández-Reyes (2003) hizo un estudio para determinar la calidad del agua en el río Santa Catarina, en una sección cercana a la cabecera municipal de la Ciudad Benito Juárez, Nuevo León, con base a la diversidad y riqueza de insectos acuáticos. Obtuvo un total de 733 individuos, distribuidos en siete órdenes (Odonata, Ephemeroptera, Hemiptera, Homoptera, Coleoptera, Diptera y Lepidoptera), 25 familias y 40 géneros, entre los que se encuentran: *Erpetogomphus* sp., *Argia* sp., *Baetis* sp., *Callibaetis* sp., *Microvelia* sp.,

Ambrysus sp., *Belostoma* sp., *Tropisternus* sp., *Berosus*., *Psephenus*., *Chironomus* sp., *Stratyomis* sp., y *Petrophila* sp. Los órdenes predominantes fueron Odonata y Ephemeroptera. El índice de diversidad de especies de Shannon-Weinner indicó que el río se encontraba en estado mesotrófico, y para el índice biótico de Hilsenhoff, la sección analizada fluctuó de ligera a moderadamente impactada.

Se hizo un estudio en el Río Pesquería en Nuevo León, donde se evaluó la calidad del agua del mismo mediante el análisis de su ecosistema bentónico. Se analizaron tres localidades, donde se identificaron 18 familias de insectos: las familias Chironomidae, Caenidae y Baetidae resultaron las más abundantes. Como tolerantes a la contaminación orgánica se identificó a *Probezzia* sp., *Dicrotendipes* sp., *Larsia* sp., *Anopheles* sp., y *Tabanus* sp.; entre los intolerantes a *Psephenus* sp., *Macrovelia* sp., *Ambrysus* sp., y *Brechmorhoga* sp. Al analizar los resultados físicos, químicos y biológicos se encontró mayor diversidad, abundancia y mejor calidad en la comunidad bentónica del municipio de Abasolo, de acuerdo con el Índice de Shannon-Weinner y el Índice Biótico de Hilsenhoff; mientras que los análisis fisicoquímicos puntuales mostraron mejor calidad para la localidad de Topo Chico y los históricos para “Los Herrera” (Bermejo-Acosta, 2003).

En un monitoreo biológico realizado en el arroyo Los Chorros, del municipio de Arteaga, en Coahuila, sitio que fue impactado por una descarga accidental

de tolueno, se reportaron algunos géneros de insectos como náyades de odonatos, efemerópteros, hemípteros, coleópteros, tricópteros y dípteros, entre otros macroinvertebrados de diferentes clases taxonómicas. El índice de Shannon-Weinner se aplicó para determinar la diversidad entre las estaciones monitoreadas. Solo en dos de las ocho estaciones hubo una diversidad alta, el tipo de corriente y de substrato influyó en la baja diversidad. Se concluyó que la calidad del agua resultó óptima para el desarrollo de la biota acuática y que el arroyo impactado se encontraba en proceso de restauración, presentando una sucesión secundaria (Torres-Muñiz, 1998).

Valdés (1998) reportó un censo preliminar en el arroyo Mireles en Allende, Nuevo León, del cual se destaca la importancia por las diferentes descargas que recibe provenientes de granjas avícolas, porcícolas, industrias y municipio. Estudió seis localidades, colectando en cada una de ellas muestras de agua para realizar análisis fisicoquímicos y muestras de bentos, las cuales colectó con una red para zooplancton. Se observó una máxima diversidad en la estación control (antes de las descargas) y en las restantes se ve una recuperación en la riqueza de taxas gradual conforme las estaciones se alejan de los sitios de descarga.

Flores-Laureano (1997) hizo un estudio para evaluar la calidad del agua del Río San Juan, mediante la identificación de los contaminantes, el análisis de las variaciones espaciales y temporales y el ajuste de modelos estadísticos. Se estudiaron parámetros físicos, químicos, bacteriológicos, pesticidas y

metales pesados. Encontró concentraciones excesivas de coliformes fecales y totales, sulfatos, detergentes, sólidos disueltos, aluminio, bario, cromo, fierro, cadmio y algunos otros de menor importancia. La estación más cercana a la presa “El Cuchillo”, cuya agua abastece a la ciudad de Monterrey, mostró tener los mayores problemas de contaminación. Se comprobó la existencia de una relación muy estrecha entre los valores altos del caudal y los valores altos de las masas de contaminantes, por un lado; así como bajos valores del caudal y altas concentraciones. Recomienda, además, realizar un monitoreo biológico que se pueda correlacionar con los datos de los análisis de laboratorio, en virtud del impacto que ha tenido y sigue teniendo la contaminación sobre la fauna acuática.

2.8 Métodos de muestreo y manejo de la muestras

Para evaluar el impacto de una fuente contaminante, generalmente hay que comparar las comunidades de macroinvertebrados y sus hábitats en los puntos de influencia de la contaminación, con los recogidos en lugares adyacentes o no afectados.

En la toma de muestras, la AWWA (1985) comenta que se debe establecer una estación de referencia corriente arriba o en un punto alejado de todas las descargas residuales preocupantes, si el estudio tiene como objetivo determinar el daño producido por la contaminación en la vida acuática. Las demás estaciones deben estar a varias distancias en corriente descendente

desde la descarga en cuestión, para determinar el alcance lineal del daño. Se deben recoger muestras para análisis físico y químico cerca de las estaciones de toma de muestra biológicas para asegurar la correlación de los estudios y tomar las muestras a la vez. Al tomar las muestras en agua corriente, se comienza por la que se encuentra más abajo en corriente descendente y continuar hacia arriba, para minimizar los trastornos inducidos por la propia toma de muestra.

Los grupos de trabajo de las Agencias Estatales de Recursos Hidráulicos MACS (Corrientes Costeras del Atlántico Medio) y FLDEP (Departamento de Protección Ambiental de Florida) desarrollaron un procedimiento de muestreo multihabitat usando una red de muestreo en “D” que consiste en la recolección sistemática de macroinvertebrados del bentos de todos los hábitats disponibles dentro de una corriente mediante el golpeo o pateo del sustrato con una red de muestreo tipo “D”. Las muestras obtenidas deben ser transferidas a contenedores preparados con una solución de etanol al 95%. Se recomienda el uso de pinzas para retirar organismos y restos de sustrato de la red, los contenedores deben ser identificados con el número de muestra, la estación de muestreo, el nombre del cuerpo de agua, y el nombre del líquido preservador.

En el trabajo de laboratorio, la identificación a nivel de género y especie aporta información más precisa sobre la relación y sensibilidad al deterioro ecológico/ambiental. El nivel de Familia provee un alto grado de precisión entre muestras y grupos taxonómicos, requiere menos experiencia por parte de quien

realiza la identificación y acelera la evaluación de resultados (Barbour *et al.*, 1999).

Hauer and Resh, (2011) resaltaron el uso de la red en forma de “D” para coleccionar macroinvertebrados en ríos; sin embargo, señalaron el gran inconveniente de que a menudo ésta se llena con material que la obstruye. El material coleccionado debe ser lavado, tamizado, colocado en frasco de plástico o bolsa Ziploc y preservadas en una solución de etanol al 70%. Recomendaron procesar las muestras dentro de 24-48 horas después de la recolección para evitar que se deterioren.

El método propuesto por la AWWA (1985) coincide que tras recolectar la muestra, ésta se lave en un recipiente con ayuda de un tamiz y se identifique por medio de etiquetas escritas con lápiz o tinta indeleble. Posteriormente se transcribe la información a un libro “permanente”.

Para reducir el tamaño de la muestra y agilizar su procesado se debe eliminar el material orgánico fino, el azolve, el fango y la arena fina. Esto se logra con un tamiz Standard No. 30 (Weber, 1973; Merrit, 1996 y AWWA, 1985).

En el laboratorio se pone la muestra directamente en una bandeja blanca poco honda, con agua para su separación. Se utiliza el microscopio estereoscópico si se requiere y se separa el material, que se coloca en viales

con etanol al 70%, con el número de muestra, la fecha, la localización de las muestras, los nombres de los organismos, etc. El material se identifica a nivel especie, de ser posible (AWWA, 1985), para percibir los requerimientos de la calidad del agua y la tolerancia a los contaminantes (Klemm, 1982).

Merrit (1996) menciona que el formaldehído fue ampliamente usado en el pasado pero en la actualidad ha sido sustituido por el etanol. Para la preservación de la muestra, frecuentemente es recomendado el etanol al 95%, para preservar los especímenes, se recomienda el etanol al 70-80%.

La técnica de muestreo para la colecta de insectos acuáticos, que consistió en tomar la muestra con una red bentónica en una superficie de 1 m², introduciendo la red hasta el fondo del río con la abertura del cono en contra de la corriente de agua, moviendo el sustrato de tal manera que los insectos quedaran dentro de la red; actividad que se realizó tres veces, es decir 3m² para cada estación, siendo consideradas repeticiones y posteriormente colocadas en bolsas Whirl-Pak, añadiendo alcohol etílico al 96%, como agente letal y preservador. Las muestras se etiquetaron y se trasladaron al laboratorio, donde se realizó el tamizaje y la separación, para colocarlas en viales con alcohol etílico al 96% nuevamente y proceder a su identificación. Entre los autores de estos estudios se encuentran Compeán-Ortíz (2012), Hernández-Reyes (2003), Ramírez-Freire (2000), Peña-Estrada (2005) y Rodríguez-Castro *et al.*, (2004).

2.9 Modelos estadísticos

Cuanto más diversa sea una comunidad mejor será la calidad del agua, pero por regla general se suelen comparar los valores en cada escala temporal o entre puntos contaminados y otros que no lo están. Franco (1985) señala que una comunidad es más compleja mientras mayor sea el número de especies que la compongan y mientras menos dominancia presenten una o pocas especies con respecto a las demás. La disminución de la diversidad indica el descenso del nivel de calidad del agua y la existencia de contaminación o algún otro problema (Kiely, 1999).

El índice más comúnmente utilizado, sobre todo en los Estados Unidos es el Índice de diversidad Shannon-Weinner, que se fundamenta en la teoría de la información, siendo $H' = -\sum P_i \log P_i$; donde P_i = proporción del número de individuos de la especie i con respecto al total (Kiely, 1999; Franco, 1985; Hauer and Resh, 2011). Estos autores combinan dos componentes de la diversidad: 1) El número de especies y 2) La igualdad o desigualdad de la distribución de individuos en las diversas especies (Krebs, 1986; Pan *et al.*, 2013). Ese índice ha sido utilizado en varios estudios, como se observa en Bermejo-Acosta (2003), Compeán-Ortíz (2012), Hernández-Reyes (2003), Ramírez-Freire (2000), Torres-Muñiz (1998) y Rodríguez-Castro (2010).

Odum (1972) mencionó que el índice de Diversidad de Shannon es uno de los mejores para efectuar comparaciones, cuando se está interesado en

separar componentes de diversidad, porque es razonablemente independiente del tamaño de la muestra.

Las ventajas de los índices de diversidad sobre los bióticos son:

- a) En los índices de diversidad simples, basta con distinguir las diferentes especies u organismos y no es necesario identificarlos.
- b) No se necesita información sobre la tolerancia a la contaminación. Sin embargo, los índices de diversidad no ofrecen información sobre el tipo de contaminante y no existe consenso en cuanto a qué valor indica que un sistema está contaminado. La investigación de Wilm en los Estados Unidos catalogó valores establecidos según el índice Shannon-Weinner inferiores a 1.0, como indicadores de aguas considerablemente contaminadas y entre 3.0 y 5.0 como no contaminadas, según Washington (1984) en Kiely (1999).

El Índice Biótico de Hilsenhoff, que consiste en la evaluación del grado de contaminación orgánica mediante valores predeterminados de tolerancia para los géneros encontrados, se ha empleado por Bermejo-Acosta (2003), Hernández-Reyes (2003), Compeán-Ortiz (2012) y Rodríguez-Castro (2010). Se hace referencia y se describe en qué consiste el índice Biótico de Hilsenhoff y el EPT en Carter, Resh, Hannaford and Myers, 2011.

En la evaluación final de la calidad del agua se considera: la riqueza de especies, el valor EPT, el Índice biótico y modelo de afinidad porcentual. Ninguno de estos componentes se piensa que es infalible o totalmente completo, pero una evaluación basada en un consenso de los cuatro ha demostrado ser una medida fiable. Para cada uno de los cuatro parámetros, la calidad del agua se clasifica en una de estas 4 categorías: no impactada, ligeramente impactada, moderadamente impactada o severamente impactada. La evaluación global está formada por un promedio de las evaluaciones de los cuatro parámetros, realizadas a través de una clasificación a escala de los valores del índice. Los valores se convierten a una escala común de nivel de calidad del agua de 0-10, con 0 si es pobre la calidad del agua, (severamente impactada) y 10 si la calidad del agua es excelente (no impactada) (Bode *et al.*, 1991).

CAPÍTULO 3

MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Área de Estudio

El presente estudio se realizó en un transecto de 80 Km del Río Pesquería, iniciando en la Av. Juárez, perteneciente al municipio de García, Nuevo León, y finalizando en la estación de muestreo denominada “Adjuntas” en el municipio de Pesquería (Figura 1). Los muestreos se realizaron en un período de seis meses que abarcó del 15 de noviembre de 2012 al 28 de abril de 2013.

El Río Pesquería se localiza en la parte noreste del estado de Nuevo León y en otra parte hacia el oriente del estado de Coahuila. Nace en el municipio de General Cepeda en el Estado de Coahuila, entra a Saltillo y pasa por Ramos Arizpe. Ya en Nuevo León recorre los municipios de García, Escobedo, Apodaca, Pesquería, Los Ramones, Los Herreras y Doctor Coss.

Este río es uno de los principales tributarios del Río San Juan, que se dirige hacia la presa Marte R. Gómez, en el estado de Tamaulipas, para de ahí descargar en el Río Bravo (INEGI, 1986). El agua del Río Pesquería tiene diversos usos; los principales son para el riego de algunas zonas pequeñas.

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

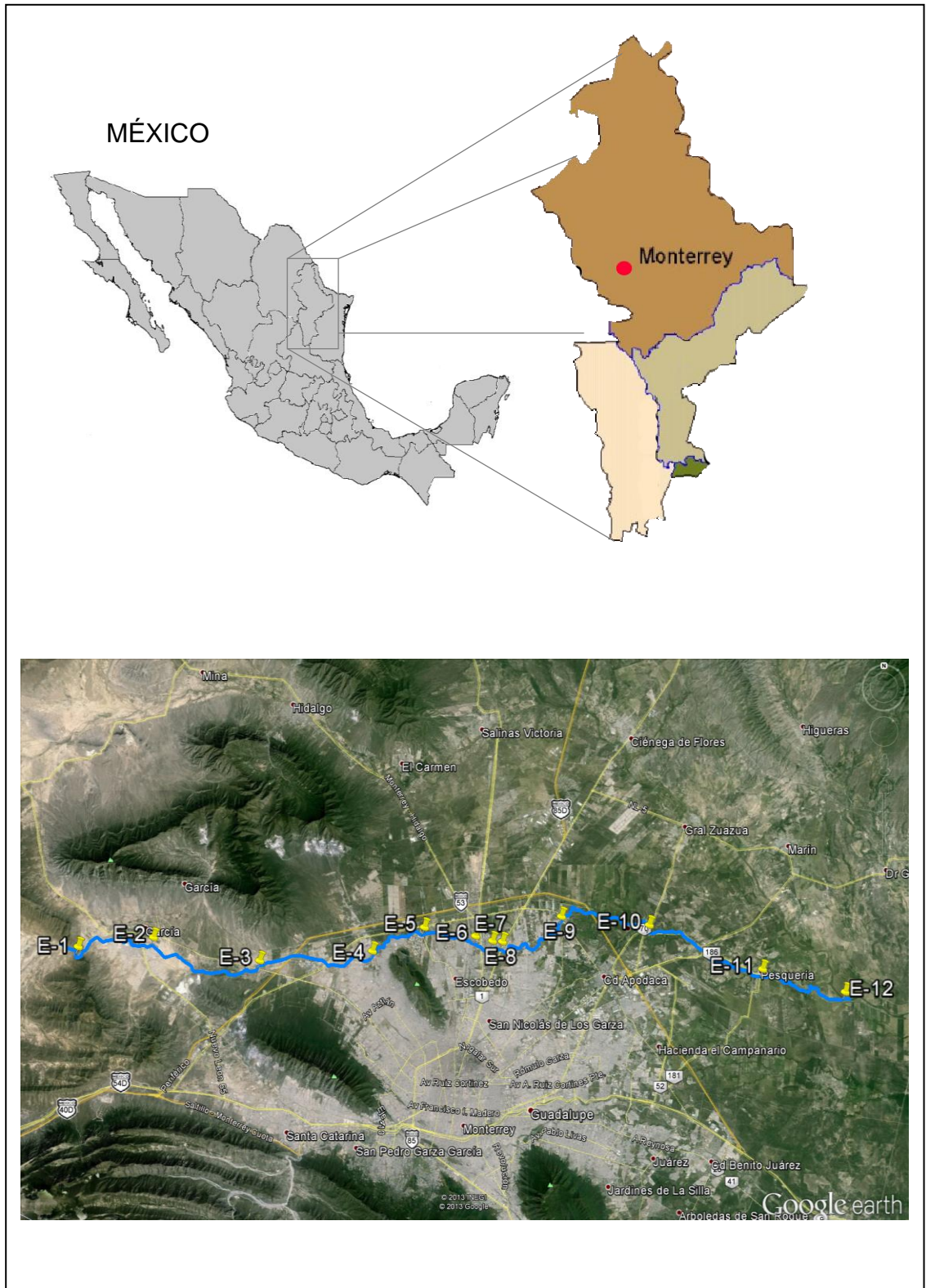


Figura 1. Ubicación de área de estudio en el Río Pesquería. En la parte inferior se muestran las doce estaciones de muestreo.

3.1.1 Estaciones de muestreo.

Se establecieron doce estaciones de muestreo en la longitud del Río Pesquería, que abarca el presente estudio. En la selección de los sitios fue muy importante considerar que fueran de fácil acceso y de seguridad:

- 1) E-1 (García). Se le considera la estación testigo. Es una sección del río localizada en el municipio de García, Nuevo León, antes de entrar a la zona urbana del centro de García. La estación de muestreo se encuentra entre la Sierra Nacataz. Se utilizó un GPS Magellan, modelo Mobile Mapper para obtener la ubicación precisa, se registraron las coordenadas: $25^{\circ} 47' 51.87''$ N y $100^{\circ} 38' 35.19''$ O (Figura 2).



Figura 2. Ubicación de la estación de muestreo E-1 (García), tomada de Google Maps México. Adjunto, arriba, vista general de la estación y abajo, personas llenando recipientes de agua para uso doméstico.

2) E-2 (Fosas). Sección del cauce natural del río, donde se incorpora la descarga de unas lagunas de oxidación ubicadas al margen del mismo, lo que crea un medio propicio para el desarrollo de insectos que pueden ser un factor de riesgo para la salud humana. Olores fétidos son característicos de esta localidad. Esta sección se localiza en el centro del municipio de García y la colonia más próxima es Paseo de las Minas que se encuentra aproximadamente a 100 m. La ubicación geográfica obtenida con el GPS fue: 25° 48' 15.01" N y 100° 34'43.97" O (Figura 3).



Figura 3. Ubicación de la estación de muestreo E-2 (Fosas), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior izquierda, vista general de la estación y abajo, descarga de las lagunas de oxidación al Río Pesquería.

3) E-3 (Lincoln). Sección del río ubicado a la altura del puente Pesquería, en la Av. Abraham Lincoln, en el municipio de García, Nuevo León. Esta localidad, aparte de ser de fácil acceso, se consideró de gran interés debido a que durante todo el estudio se apreció abundante espuma en el agua del río. La ubicación geográfica obtenida corresponde a las coordenadas: $25^{\circ} 47' 14.14''$ N y $100^{\circ} 29' 13.94''$ O (Figura 4).



Figura 4. Ubicación de la estación de muestreo E-3 (Lincoln), tomada de Google Maps México. Adjunto a la derecha vista general del área de muestreo.

- 4) E-4 (Av. Monterrey). Sección del río ubicado en área urbana, donde la característica principal es la presencia de asentamientos irregulares que utilizan el río como basurero, ya que vierten directamente una gran cantidad de desechos al mismo. Esta estación se encuentra entre los límites de los municipios de Escobedo y Monterrey, la ubicación geográfica obtenida está entre las coordenadas: $25^{\circ} 47' 41.03''$ N y $100^{\circ} 23' 23.24''$ O (Figura 5).



Figura 5. Ubicación de la estación de muestreo E-4 (Av. Monterrey), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, vista general del área de muestreo; abajo vecinos del área contaminando el Río Pesquería.

5) (Parque Industrial). Sección del río ubicada a la altura del puente de la Av. Industrial, en el Municipio de Escobedo, Nuevo León. La estación de muestreo colinda al norte con el Ejido “Paso Cucharas” y al sur con el Parque Industrial Escobedo. En este sitio se aprecia una fuente localizada que descarga agua residual al río solo en temporada de lluvia. La ubicación geográfica obtenida fueron las coordenadas: 25° 48' 42.20" N y 100° 20'41.65" O (Figura 6).



Figura 6. Ubicación de la estación de muestreo E-5 (Parque Industrial), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, descarga de aguas residuales al Río Pesquería; abajo, vista general del área de muestreo.

6) Colombia (E-6). Sección del río localizada en un área urbana bajo el puente de Ferrocarril, ubicado aproximadamente a 700 m al Suroeste del Puente Colombia, en el municipio de Escobedo. Se seleccionó ésta localidad debido a que fue más fácil el acceso, en lugar del Puente Colombia como se pretendía en un inicio. El objetivo de ubicar en este lugar la estación de muestreo fue para apreciar la calidad del agua del río Pesquería antes de recibir las descargas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Norte. La ubicación geográfica obtenida fueron las coordenadas: 25° 48' 20.09" N y 100° 18' 2.71" O (Figura 7).



Figura 7. Ubicación de la estación de muestreo E-6 (Colombia), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, vista general del área de muestreo; abajo colecta de insectos acuáticos.

- 7) E-7 (PTAR Norte). Sección del río que recibe la descarga de agua ya tratada por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Norte, en el municipio de Escobedo. La ubicación geográfica obtenida corresponde a las coordenadas: 25° 48' 7.11" N y 100°17' 7.81" O (Figura 8).



Figura 8. Ubicación de la estación de muestreo E-7 (PTAR Norte), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, vista general del área de muestreo; abajo, tiradero de llantas que abunda en ésta localidad.

- 8) E-8 (Laredo). Sección del río ubicada a la altura del puente Carretera Laredo, el cual se encontraba en etapa de remodelación. La ubicación geográfica obtenida fueron las coordenadas: $25^{\circ} 48' 4.25''$ N y $100^{\circ} 16' 38.14''$ O (Figura 9).



Figura 9. Ubicación de la estación de muestreo E-8 (Laredo), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior izquierda, vista general del área de muestreo; abajo colecta de insectos acuáticos.

- 9) E-9 (Sta. Rosa). Sección del río ubicada en zona semi-urbana, pertenece al municipio de Apodaca. A sus alrededores hay vecinos que se dedican a la cría de ganado bovino y caprino y es común que los lleven al río a pastorear, recibiendo el río los desechos generados por estos animales. Fuertes olores fétidos son característicos de esta localidad. La ubicación geográfica obtenida fueron las coordenadas: $25^{\circ} 49' 20.45''$ N y $100^{\circ} 13' 27.06''$ O (Figura 10).

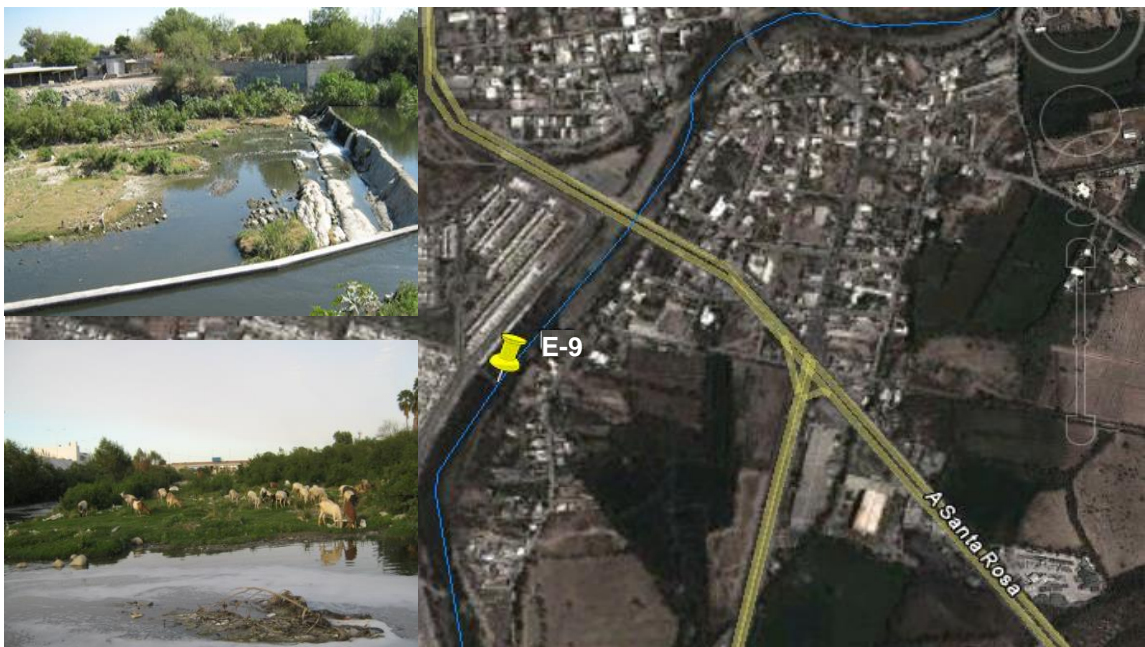


Figura 10. Ubicación de la estación de muestreo E-9 (Sta. Rosa), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior izquierda, vista general del área de muestreo; abajo, el pastoreo de ganado caprino que se observó a menudo en la localidad.

10) E-10 (Agua Fría): Sección del río localizada aproximadamente a 350 m al este del puente ubicado en el poblado de Agua Fría. Pertenece al municipio de Apodaca. En esta estación se observan descargas de aguas residuales domésticas provenientes de las casas del poblado y se vierten directamente al río. Esta localidad se utiliza como zona de pesca por gente de la región. La ubicación geográfica obtenida fueron las coordenadas: 25° 48' 48.25" N y 100°09' 0.57" O (Figura 11).



Figura 11. Ubicación de la estación de muestreo E-10 (Agua Fría), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior izquierda, descarga de aguas residuales de los vecinos que viven al margen del río; abajo, vista general del área de muestreo.

- 11) E-11 (Pesquería): Sección del río localizada a la altura del puente de la Calle 5 de Mayo, en el centro del municipio de Pesquería, Nuevo León. La ubicación geográfica obtenida fueron las coordenadas: 25° 46' 52.21" N y 100°03' 6.14" O (Figura 12).



Figura 12. Ubicación de la estación de muestreo E-11 (Pesquería), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, vista general del área de muestreo; abajo, pastoreo de ganado caprino.

- 12) E-12 (Adjuntas). Sección del río ubicada en el municipio de Pesquería. Se utiliza también como zona de pesca por la gente de sus alrededores. Esta estación se encuentra en la confluencia con el Río Salinas, fuera de la mancha urbana y se seleccionó con la finalidad de apreciar la calidad del agua del Río Pesquería antes de la confluencia, además de observar una vez analizada la información obtenida si el río se recupera después de su paso por el Área Metropolitana de Monterrey. La ubicación geográfica obtenida fueron las coordenadas: 25°45'52.43" N y 99°58'48.62" O (Figura 13).



Figura 13. Ubicación de la estación de muestreo E-12 (Adjuntas), tomada de Google Maps México. Adjunto, superior derecha, vista general del área de muestreo; abajo, persona lanzando la red de pesca.

3.2 Manejo de muestras

3.2.1 Colecta de Insectos Acuáticos

El presente estudio se realizó en un período de seis meses que abarcó del 15 de noviembre de 2012 al 30 de abril de 2013, realizándose muestreos quincenales.

La unidad de muestreo correspondió a una superficie de 1 m²; las muestras se tomaron removiendo el fondo del río con una red bentónica, colocando la abertura del cono en contra de la corriente del agua, removiendo el sustrato para que los insectos quedaran dentro de la red, se realizaron tres repeticiones en cada estación, equivalente al muestreo de 3 m² en cada una de ellas.

El material obtenido de la toma de muestra se colocó directamente en bolsas whirl pack, que fueron etiquetadas con datos de la localidad, la fecha y el número de muestra. Enseguida el material colectado se fijó con alcohol etílico al 96%, que se usó como agente letal y preservador. Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, se mantuvieron en refrigeración mientras se realizaba el tamizado, la limpieza y la separación de los organismos colectados en cada localidad, siendo colocados en viales o frascos con alcohol etílico al 96% (Barbour *et al.*, 1999) (Figura 14).



Figura 14. a) Izquierda, colecta de insectos acuáticos; b) vertido del material biológico en bolsas whirl pack; c) preservación en alcohol etílico al 96%.

3.2.2 Identificación taxonómica

En el laboratorio se realizó el tamizaje, la separación y la cuantificación del material biológico colectado. Con ayuda de un contador se agruparon los ejemplares afines en cajas Sorting y posteriormente se colocaron en viales con alcohol etílico al 96%. La identificación del material se realizó con ayuda de un microscopio estereoscopio Carl Zeiss (AWWA, 1985), colocando los ejemplares en cajas Petri con ayuda de pinzas y agujas de disección. Las claves taxonómicas utilizadas fueron las claves de Arnett *et al.* (1980), Darsie y Ward (1981), La Rivers (1953), Lehmkuhl (1979), McCafferty *et al.* (1997), Merrit y Cummins (2008), Novelo-Gutiérrez (1997^a), Novelo-Gutiérrez (1997^b), Slater y Baranowski. (1978), Usinger (1956).



Figura 15. a) Izquierda, separación y cuantificación de los insectos acuáticos colectados; b) identificación de insectos con ayuda del microscopio estereoscopio Carl Zeiss.

3.2.3 Toma de muestras de agua para su caracterización físico-química.

Se calibró in situ el equipo Thermo Scientific Orion Star A325 que se utilizó para analizar la temperatura, la conductividad, el pH, el oxígeno disuelto, los sólidos disueltos totales y la salinidad en cada estación de muestreo. Las lecturas obtenidas se registraron en una bitácora (Figura 16).

Se obtuvo una muestra de agua de un litro en cada estación de muestreo, esas muestras se etiquetaron con el número de muestreo, la localidad y la fecha. Posteriormente se colocaron en una hielera a la que se le agregó hielo y se trasladó al Departamento de Geohidrología, para realizar los análisis de arsénico, cianuro, turbiedad y nitratos. Para el análisis de arsénico se utilizó el Test kit arsenic Hach y el equipo Hach DR/890 Colorimeter para los demás parámetros (Figura 16).



Figura 16. a) Izquierda, toma de muestra de agua; b) centro, análisis in situ de parámetros físicoquímicos; c) derecha, análisis de arsénico, cianuro, turbiedad y nitratos.

En el último muestreo realizado el 28 de abril del 2013 también se tomaron muestras (NMX-AA-003-1980) en cada localidad, se colocaron en una hielera con hielo y se trasladaron al Laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas para realizar el análisis de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

3.3 Análisis de datos

3.3.1 Estado ecológico mediante índices ecológicos de diversidad y riqueza sobre insectos acuáticos.

Se determinó el estado ecológico del cuerpo de agua mediante los índices ecológicos de diversidad y riqueza aplicados a los insectos acuáticos. Los índices de diversidad relacionan el número de individuos de cada especie en un área dada con el número total de organismos, mientras la riqueza de especies proporciona el número total de especies o taxas encontradas en un área determinada.

3.3.1.1 Índice de diversidad de especies Shannon-Weinner

Está basado en la abundancia proporcional de las especies (Hauer and Resh, 2011).

$$H' = -\sum P_i \text{Log } P_i$$

Donde: H' = diversidad (bits/individuo)

P_i = proporción del total de individuos de la especie i con respecto al total (n_i/N_t).

3.3.2 Calidad del agua mediante índices bióticos aplicados a insectos acuáticos.

La estimación de la calidad del agua se determinó mediante los siguientes índices bióticos aplicados a insectos acuáticos que determinaron el tipo de impacto ocasionado por la contaminación:

3.3.2.1 Índice de diversidad de especies Shannon-Weinner (Zar, 1996)

Los resultados obtenidos anteriormente se procesaron mediante la siguiente categorización:

Valor H'	Calidad de agua
0 – 1	Polisaprobio
1 – 2	Mesosaprobio
>2	Oligosaprobio

3.3.2.2 Valor EPT.

Se refiere a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, considera el número total de especies de estos tres órdenes de insectos en una muestra de 100 organismos.

Número de especies de EPT	Calidad de agua
>10	No impactado
6 – 10	Ligeramente impactado
2 – 5	Moderadamente impactado
0 – 1	Severamente impactado

3.3.2.3 Riqueza de especies.

Considera el número de especies encontradas en una muestra de 100 organismos, donde se establecen cuatro categorías de impacto:

Número total de especies	Calidad de agua
>27	No impactado
19 – 26	Ligeramente impactado
11–18	Moderadamente impactado
0 –10	Severamente impactado

3.3.2.4 Índice biótico de Hilsenhoff.

Se basa en multiplicar el número de individuos de cada especie por su valor de tolerancia asignado, sumando estos productos y dividiendo entre el número total de individuos (Bode *et al.*, 1991).

Valor de IBH	Calidad de agua
0 – 4.5	Sin impacto
4.51 – 6.5	Ligeramente impactado
6.51 – 8.5	Moderadamente impactado
8.51 – 10	Severamente impactado

NIVELES DE IMPACTO DE LA CALIDAD DEL AGUA

No impactado o sin impacto. Excelente calidad de agua; comunidad de macroinvertebrados alta, más de 27 especies en aguas rápidas; valor EPT cercano o mayor a 10; índice biótico de 4.5 o mayor; con propagación y sobrevivencia de especies de peces.

Ligeramente impactado. Agua de buena calidad; ligera perturbación de comunidad de macroinvertebrados; riqueza de 19 a 26 especies; valor EPT 6 a 10; índice biótico entre 4.5 y 6.5; no es limitativo para la sobrevivencia de peces, pero puede afectar la reproducción.

Moderadamente impactado. Ligera calidad del agua; riqueza de especies entre 11 y 18; valor EPT de 2 a 5, efemerópteros y plecópteros ausentes, los tricópteros pueden estar presentes; limitativo para la propagación y reproducción de peces pero no para la sobrevivencia.

Severamente impactado. Pobre calidad de agua; comunidad de macroinvertebrados limitada a algunas especies; riqueza de especies menor a 10; valor EPT raros o ausentes de 0 a 1; las especies dominantes son tolerantes como quironómidos y oligoquetos; solamente una o dos especies son abundantes. Limitativo para la sobrevivencia, reproducción y propagación de peces.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 Caracterización biológica de insectos acuáticos

4.1.1. Análisis estructural de las comunidades de insectos acuáticos.

La colecta del material biológico se realizó de forma quincenal, a partir del 15 de noviembre de 2012, al 28 de abril de 2013, a través de doce muestreos. Se colectaron, en total, 183,289 insectos acuáticos en sus diferentes etapas de desarrollo; es decir, juveniles (ninfales o larvales) y adultas. Las estaciones E-10 (Agua Fría) y E-12 (Adjuntas) presentaron las densidades más altas (Tabla 2 y Figura 17). Se clasificaron en siete órdenes, con 26 familias, 39 géneros y 10 especies.

La mayor densidad de insectos colectados durante los doce muestreos correspondieron al Orden Diptera con 180,493 ejemplares (98.475%), seguido por Odonata con 911 individuos (0.497%), en tercer lugar Coleoptera con 873 insectos (0.476%); cuarto lugar, Ephemeroptera con 773 ejemplares (0.422%); quinto lugar, Hemiptera con 201 individuos (0.110%); en sexto lugar, Trichoptera con 32 individuos (0.017%) y, por último, Lepidoptera con 6 ejemplares (0.003%) (Tabla 3 y Figura 18).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 2. Listado y número total de insectos acuáticos colectados en doce estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

	ORDEN	FAMILIA	GENERO/ESPECIE	ESTADIO	ESTACIÓN DE MUESTREO												*T/sp		
					E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12			
1	1. Ephemeroptera	1. Baetidae	1. <i>Callibaetis</i> sp.	N	746				12	11				3		1	773		
2	2. Odonata	2. Coenagrionidae	2. <i>Argia</i> sp.	N	489	13		79	85	48	2		1	24	80	12	833		
3			3. <i>Enallagma</i> sp.	N		2												2	
4			4. <i>Nehalennia</i> sp.	N					4	1	1			2					8
5			3. Gomphidae	5. <i>Erpetogomphus</i> sp.	N	11	1		8	5	6	1							32
6		6. <i>Ophiogomphus</i> sp.		N	23			5		1				2	1			32	
7		4. Libellulidae	7. <i>Nannothemis</i> sp.	N						2								2	
8			8. <i>Pseudoleon</i> sp.	N		1				1								2	
9		3. Hemiptera	5. Belostomatidae	9. <i>Abedus</i> sp.	N	23												23	
10	<i>Abedus</i> sp.			A	21											2		23	
11	6. Corixidae		10. <i>Corisella</i> sp.	A	1													1	
12	7. Naucoridae		11. <i>Ambrysus</i> sp. A	N	22	3												25	
13			<i>Ambrysus</i> sp. A	A	35													35	
14			<i>Ambrysus</i> sp. B	N	48													48	
15			<i>Ambrysus</i> sp. B	A	29													29	
16			12. <i>Limnocoris</i> sp.	A	8													8	
17	8. Veliidae	13. <i>Microvelia</i> sp.	A	9													9		
18	4. Trichoptera	9. Hydropsychidae	14. <i>Smicridea</i> sp.	L	2				9					7			18		
19		10. Hydroptilidae	15. <i>Metricha</i> sp.	L						14							14		
20	5. Coleoptera	11. Dryopidae	16. <i>Helichus lithophilus</i>	A	1												1		
21		12. Dytiscidae	17. <i>Liodessus</i> sp	A	13												13		
22		13. Elmidae	18. <i>Neelmis</i> sp.	L	11									1		1	13		
23		14. Hydrophilidae	19. <i>Berosus</i> sp.	L	25	3		32	104	341	1		1			3	510		
24			<i>Berosus</i> sp.	A	16	1		13	52	142							224		
25			20. <i>Enochrus</i> sp.	A	6					1								7	
26		21. <i>Hydrobius</i> sp.	L		2												2		

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 2. (Continuación)

	ORDEN	FAMILIA	GENERO/ESPECIE	ESTADIO	ESTACIÓN DE MUESTREO												*T/sp
					E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	
27			22. <i>Hydrochara</i> sp.	A										1		1	
28			23. <i>Tropisternus</i> sp.	L	4	20		1	14	24				3		66	
29			<i>Tropisternus lateralis</i>	A	2	10				1					1	14	
30			<i>Tropisternus obscurus</i>	L	7	5			1	5					1	19	
31		15. Psephenidae	24. <i>Psephenus</i> sp.	L	3											3	
32	6. Diptera	16. Ceratopogonidae	25. <i>Atrichopogon</i> sp.	L	2					4						6	
33		17. Chironomidae	26. <i>Chironomus plumosus</i>	L	128	17,648	8	12,656	18,226	9,253	15,149	10,732	10,732	25,791	11,696	43,177	175,196
34		18. Culicidae	27. <i>Anopheles franciscanus</i>	L						2							2
35			28. <i>Culex declarator</i>	L					1								1
36			<i>Culex franciscanus</i>	L		9											9
37			<i>Culex interrogator</i>	L		26											26
38			<i>Culex quinquefasciatus</i>	L		1,155		2,359	15					1			3,530
39			<i>Culex tarsalis</i>	L						1							1
40		19. Ephydriidae	29. <i>Brachydeutera</i> sp.	L		28		2				1					31
41			30. <i>Ephydra</i> sp.	L		57	2	533	2	8	21		1	2	1		627
42			31. <i>Paracoenia</i> sp.	L		5		2		2				3			12
43		20. Muscidae	A	L		1	1			3							5
44			B	L		1		2		2	5		1			2	13
45		21. Psychodidae	32. <i>Pericoma</i> sp.	L		1					12		3			3	19
46			33. <i>Psychoda</i> sp.	L		12		24			394	396	10	3	2		841
47		22. Stratiomyidae	34. <i>Euparyphus</i> sp.	L	17	2			1								20
48			35. <i>Stratiomys</i> sp.	L	52	12		1	1	6	12		3	1	2	2	92
49		23. Syrphidae	36. <i>Eristalis</i> sp.	L		44	10						1			1	56
50		24. Tabanidae	37. <i>Atylotus</i> sp.	L	3												3
51	25. Tipulidae	38. <i>Antocha</i> sp.	L	3												3	
52	7. Lepidoptera	26. Pyralidae	39. <i>Petrophila</i> sp.	L	4									2		6	
TOTAL					1,764	19,062	21	15,721	18,530	9,878	15,597	11,129	10,759	25,840	11,783	43,205	183,289

Estado de desarrollo: (N) Ninfa/Náyade, (L) Larva, (A) Adulto.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), (E-10) Agua Fría, (E-11) Pesquería y (E-12) Adjuntas.

*T/sp: Total por especie.

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

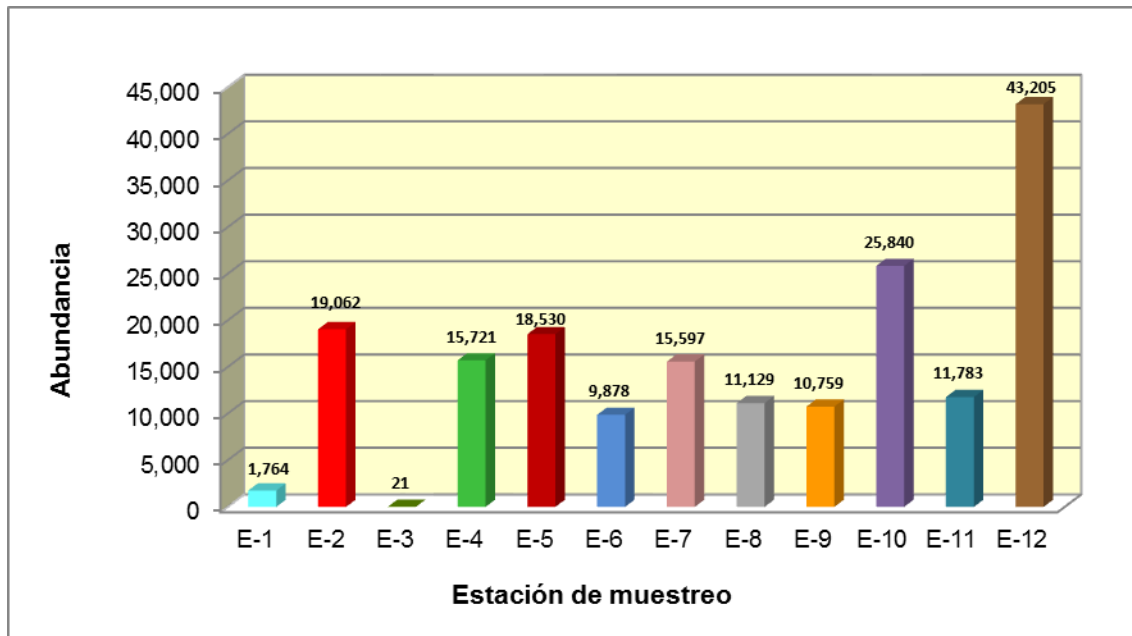


Figura 17. Abundancia de insectos colectados en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fria), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

Tabla 3. Densidad de insectos acuáticos correspondientes a nivel de Orden en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012- abril 2013.

	Densidad total	Porcentajes
1. Diptera	180,493	98.475
2. Odonata	911	0.497
3. Coleoptera	873	0.476
4. Ephemeroptera	773	0.422
5. Hemiptera	201	0.110
6. Trichoptera	32	0.017
7. Lepidoptera	6	0.003
Total	183,289	100.000

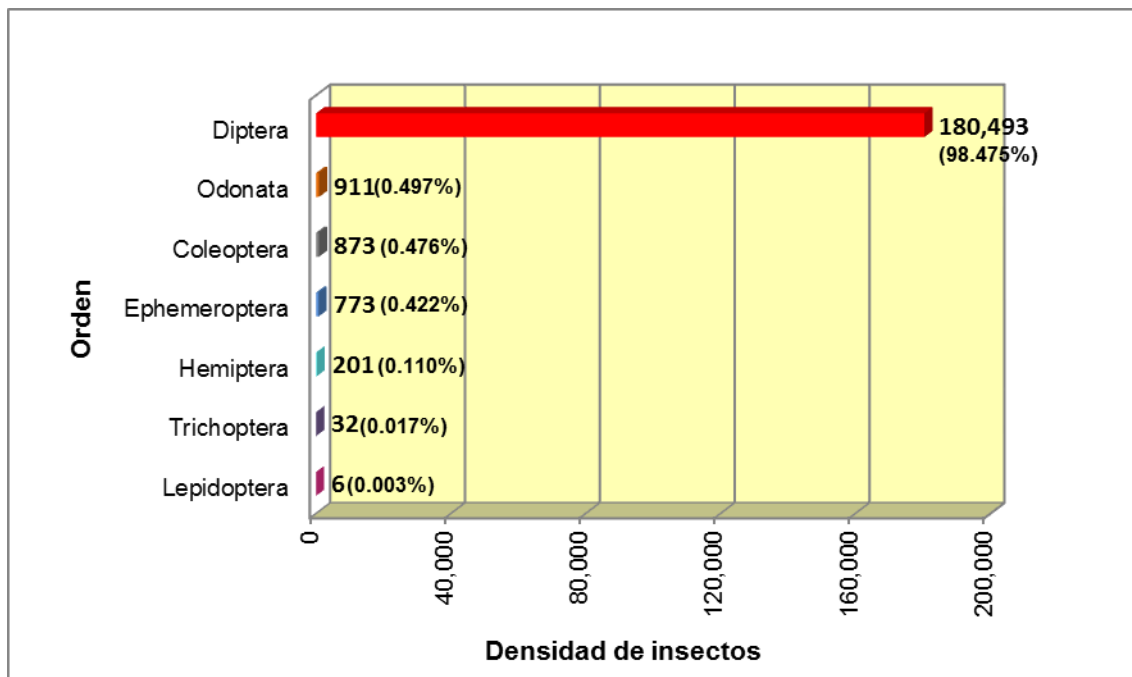


Figura 18. Densidades y porcentajes de insectos acuáticos colectados a nivel de Orden, en los doce muestreos del Río Pesquería.

Los dípteros dominaron en las doce estaciones de muestreo; sin embargo, su abundancia fue menor en la E-3 (Lincoln), con solo 21 ejemplares (0.01%), seguida por la E-1 con 205 insectos (0.11%) y mayor en la E-12, con 43,185 insectos (23.93%). La estación García, considerada como “Testigo,” presentó mayor diversidad de organismos; en cambio, en la estación Lincoln el total de organismos colectados fue de 21 ejemplares (en los doce muestreos), todos correspondientes al Orden Diptera. Este Orden se caracteriza por ser uno de los más grandes, está muy evolucionado y biológicamente es muy diverso, además de tolerar ambientes alterados o contaminados.

Realizando un análisis global de la densidad total de insectos colectados para cada estación de muestreo, los resultados obtenidos se graficaron en

orden decreciente: la mayor densidad se registró en la E-12, con 43,205 insectos (23.57%); seguida por la E-10, con 25,840 insectos (14.10%); E-2, con 19,062 insectos (10.40%); E-5, con 18,530 insectos (10.11%); E-4, con 15,721 insectos (8.58%); E-7, con 15,597 insectos (8.51%); E-11, con 11,783 insectos (6.43%); E-8 con 11,129 insectos (6.07%), E-9 con 10,759 insectos (5.87%); E-6, con 9,878 insectos (5.39%); E-1, con 1,764 insectos (0.96%) y, por último, E-3 con 21 insectos (0.01%) (Figura 19).

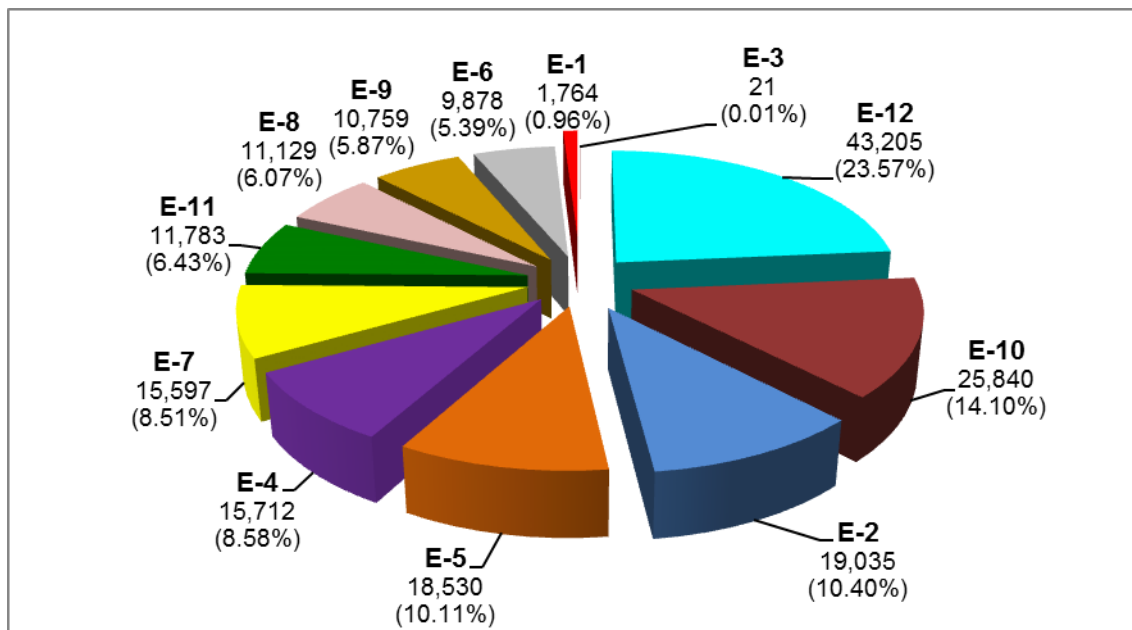


Figura 19. Porcentaje y densidad de insectos acuáticos colectados en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012- abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

Desde el punto de vista taxonómico, en las estaciones E-1 (García) y E-10 (Agua Fría) se encontró la mayor cantidad de órdenes: 7 y 6 respectivamente. Las estaciones E-5 (Parque Industrial) y E-6 (Colombia) registraron 5 órdenes: Ephemeroptera, Odonata, Trichoptera, Coleoptera y Diptera, la misma cantidad

se presentó en la E-12 (Adjuntas), con la diferencia del Orden Hemiptera; este último se identificó en la E-2 (Fosas) que tiene en común los órdenes Odonata, Coleoptera y Diptera; con la E-4 (Av. Monterrey), E-7 (PTAR Norte) y E-9 (Sta. Rosa). Dos estaciones incluyeron solamente el Orden Diptera, la E-3 (Lincoln) y E-8 (Sta. Rosa).

Referente al número de géneros y/o especies colectadas por localidad, la E-1 presentó mayor riqueza con 27 taxa, seguida de la E-2 con 22 taxa, E-6 con 19 taxa, E-5 con 15 taxa, E-4 con 13 taxa, E-10 con 12 taxa, E-9 con 11 taxa, E-12 con 10 taxa, E-7 con 8 taxa, E-11 con 7 taxa, E-3 y E-8 con 3 taxa (Tabla 4).

Tabla 4. Número de géneros y/o especies registradas para las estaciones de muestreo ubicadas en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012- abril 2013.

Orden	Estaciones de muestreo											
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12
1. Ephemeroptera	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
2. Odonata	3	4	0	4	3	6	2	0	2	2	2	1
3. Hemiptera	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4. Trichoptera	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
5. Coleoptera	9	5	0	2	3	5	1	0	1	3	1	3
6. Diptera	6	12	3	7	7	6	5	3	8	4	4	4
7. Lepidoptera	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Total	27	22	3	13	15	19	8	3	11	12	7	10

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.1.1.3. Abundancia de insectos acuáticos a nivel de Orden

El orden de insectos alados más antiguos que existe en la actualidad es el Ephemeroptera, comúnmente se les llama “moscas de mayo, efímeras o efémeras”, sus ninfas viven por lo regular en agua corriente limpia y bien oxigenada. Su presencia representa un buen indicador de que se trata de agua no contaminada. Considerando el porcentaje total de insectos del orden Ephemeroptera, el mayor porcentaje se presentó en la E-1 (García), con un 96.51% y, a pesar de que se encontraron en las estaciones E-5 (Parque Industrial) y E-6 (Colombia), su porcentaje fue mínimo: un 1.55% y 1.42% respectivamente; en el resto de las estaciones de muestreo fue nula su presencia (Figura 20).

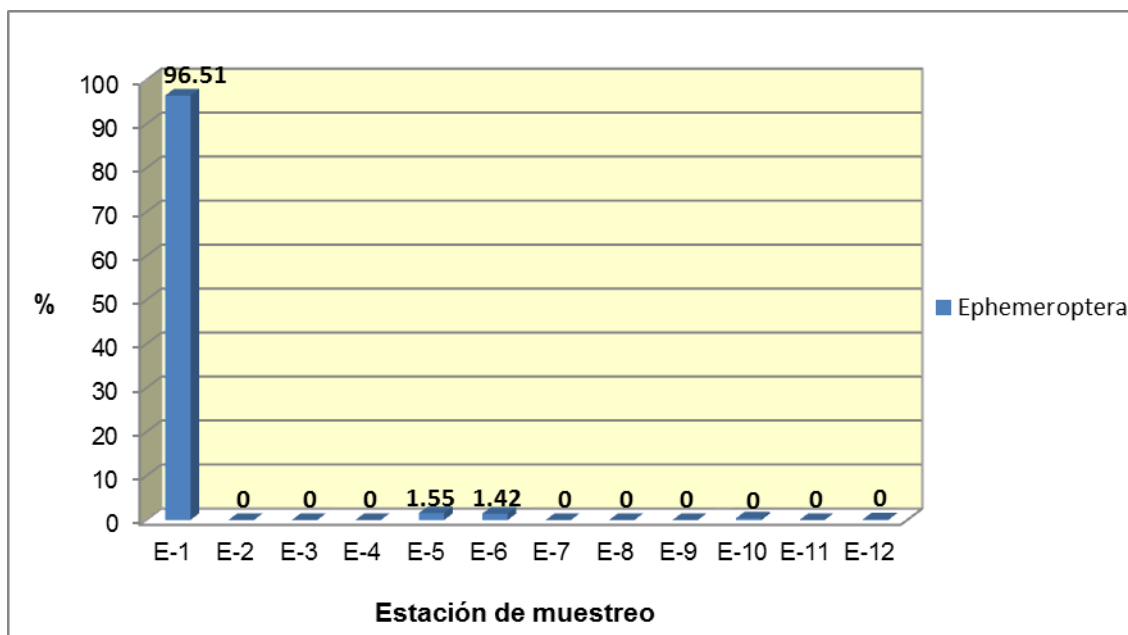


Figura 20. Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Ephemeroptera en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

En la escala evolutiva sigue el orden Odonata, que incluye formas tan conocidas como las “libélulas y los caballitos del diablo”; es uno de los grupos de insectos más populares. La localidad E-1 (García) tuvo el 57.41% del total de los odonatos, la E-4 (Av. Monterrey) presentó el 10.54%, seguida por la E-5 (Parque Industrial), E-11 (Pesquería) y E-6 (Colombia) con valores cercanos al 10%; en cambio la E-10 (Agua Fría) y E-2 (Fosas) disminuyeron al 2.85% y 1.87% respectivamente. Un 0.33% de odonatos se observó en la E-7 (PTAR Norte) y E-9 (Sta. Rosa), cero ejemplares en la E-3 (Lincoln) y E-8 (Laredo) (Figura 21).

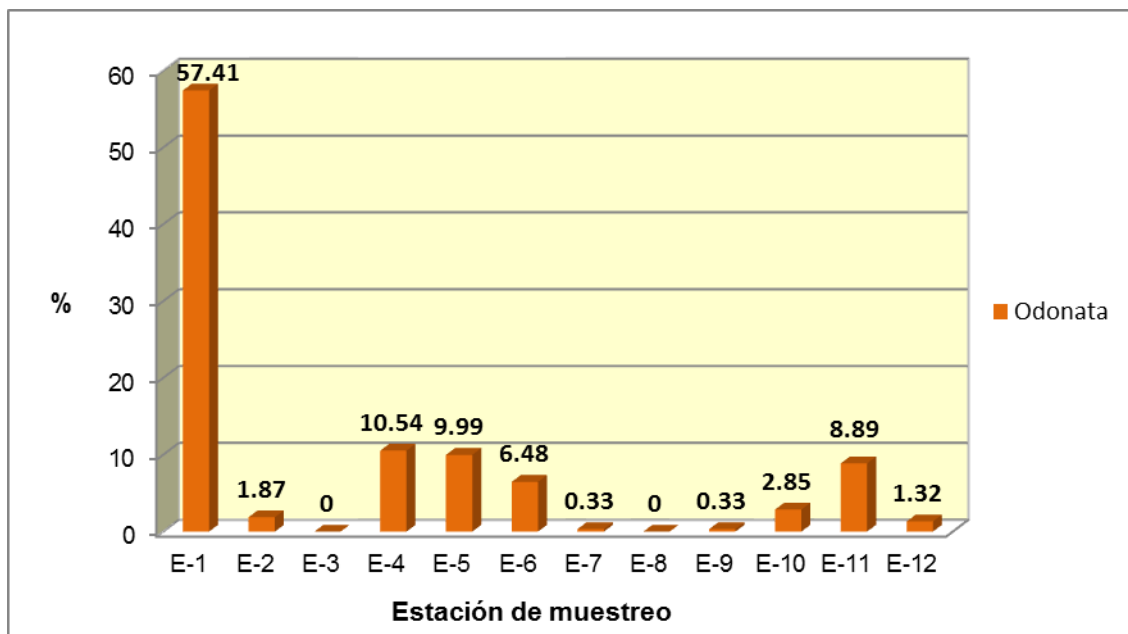


Figura 21. Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Odonata en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

El orden Hemiptera está representado por las “chinchas acuáticas” y se colectaron solo en tres localidades: el mayor porcentaje se concentró en la E-1 (García) con el 97.51% del total, disminuyendo drásticamente en la E-2 (Fosas) y E-12 (Adjuntas) a un 1.49% y 1.00% respectivamente (Figura 22).

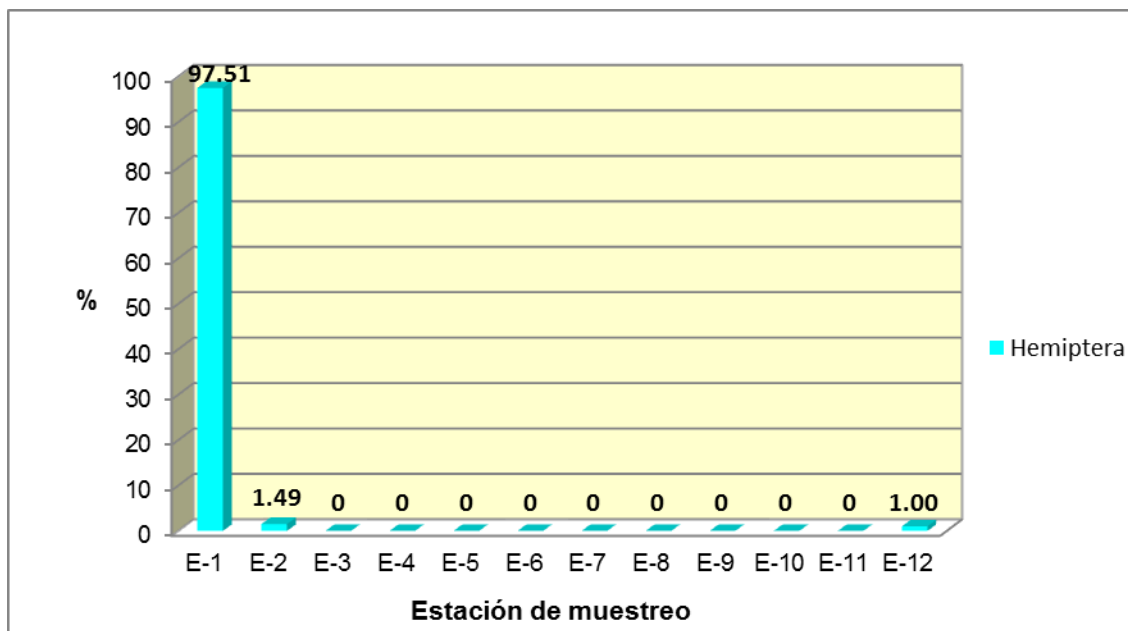


Figura 22. Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Hemiptera, en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

Pertenecen al orden Coleoptera los comúnmente llamados “escarabajos”, la localidad E-6 (Colombia) sobresalió por contar con el 58.88% de los coleópteros colectados en forma global, le siguió la E-5 (Parque Industrial) con el 19.59%, E-1 (García) con el 10.08%, E-4 (Av. Monterrey) con 5.27% y E-2 (Fosas) con 4.70%; las demás estaciones mostraron valores menores que el 1% y cero coleópteros en la E-3 (Lincoln) y E-8 (Laredo). Ver la Figura 23.

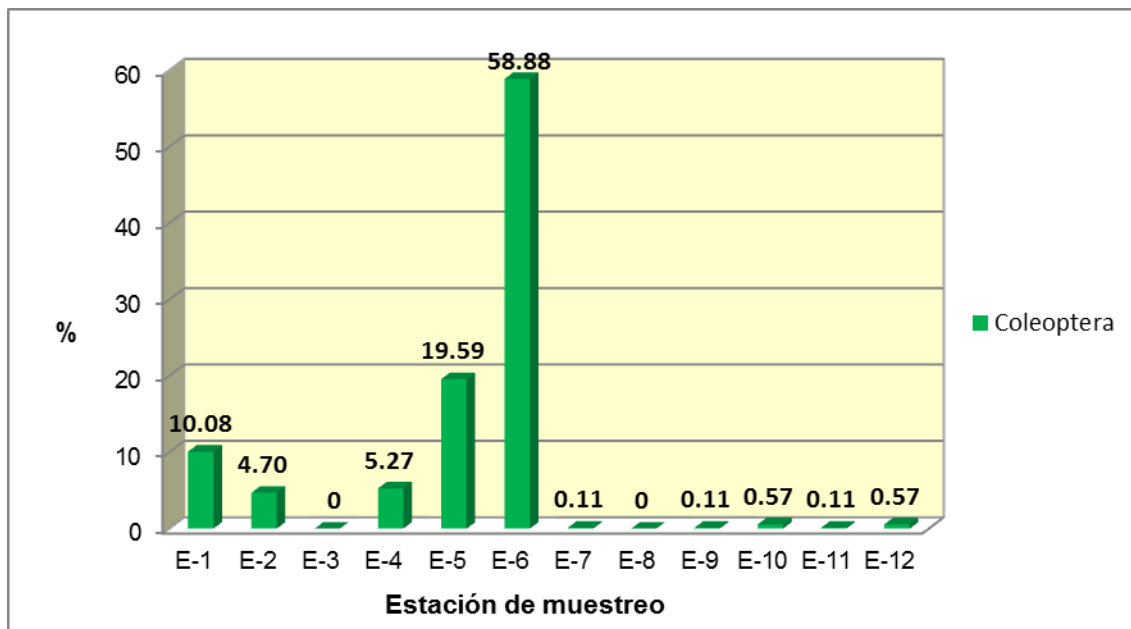


Figura 23. Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Coleoptera en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

Dentro de los grupos de insectos que se han adaptado de manera satisfactoria a los sistemas acuáticos contaminados se encuentra principalmente el orden Diptera, que incluye a las “moscas y mosquitos”. Éste fue el orden con mayor densidad de insectos en todo el estudio y su distribución se apreció en todas las localidades. La E-12 (Adjuntas) presentó el mayor porcentaje de dípteros con un 23.93%, seguida por la E-10 (Agua Fría) con un 14.29%, las estaciones E-2 (Fosas) y E-5 (Parque Industrial) 10.53% y 10.11% respectivamente; porcentajes del 8.6 % se registraron en la E-4 (Av. Monterrey) y E-7 (PTAR Norte), valores constantes entre el 5 y 6% se manifestaron en las estaciones E-6 (Colombia), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa) y

E-11 (Pesquería). Porcentajes apenas perceptibles se obtuvieron en la E-1 (García) y E-3 (Lincoln), con 0.11% y 0.01% respectivamente (Figura 24).

Se observaron varios factores que ayudaron a crear un ambiente óptimo para el desarrollo de los dípteros en varias localidades; por ejemplo, en la E-2 (Fosas) una descarga de las lagunas de oxidación situadas al lado del punto de muestreo, la E-4 se caracterizó por presentar grandes cantidades de basura y desechos orgánicos arrojados de manera irresponsable por habitantes de asentamientos irregulares en el sitio, en la E-5 (Parque Industrial) se detectó una descarga clandestina que descargaba al río esporádicamente solo cuando se presentaban lluvias; la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la E-7 (PTAR Norte) y las descargas de drenaje directas al río del poblado de Agua Fría influyeron también en la densidad de los dípteros.

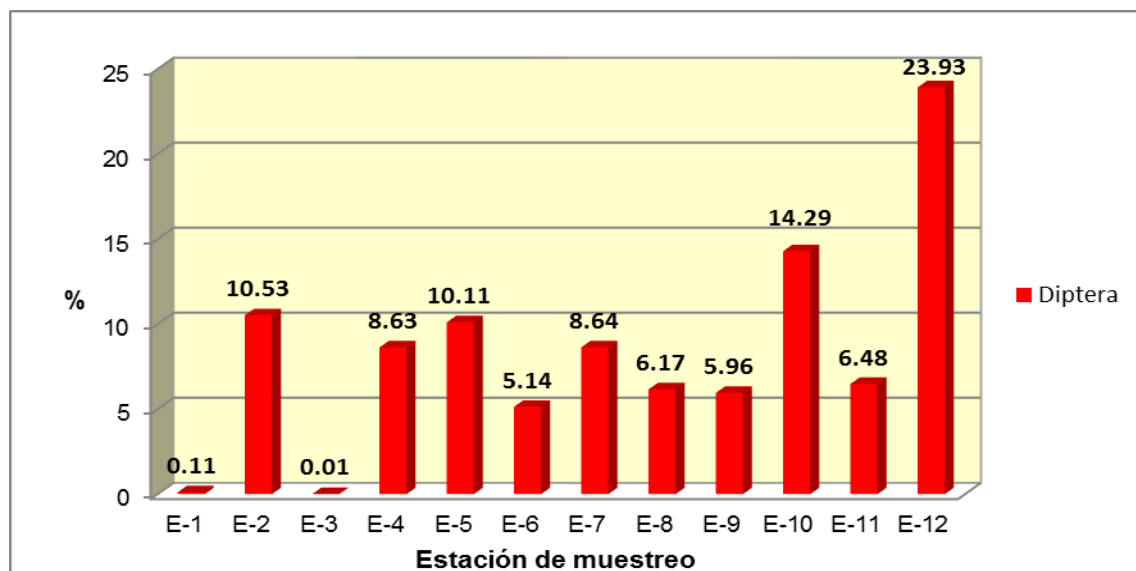


Figura 24. Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Diptera, en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

El orden Trichoptera, “moscas de cadis,” se presentó solo en cuatro localidades: el mayor porcentaje se observó en la E-6 (Colombia) con 43.75%, seguida por la E-5 con 28.13%, la E-10 (Agua Fría) con 21.88% y en menor porcentaje en la E-1 (García) con 6.25% (Figura 25).

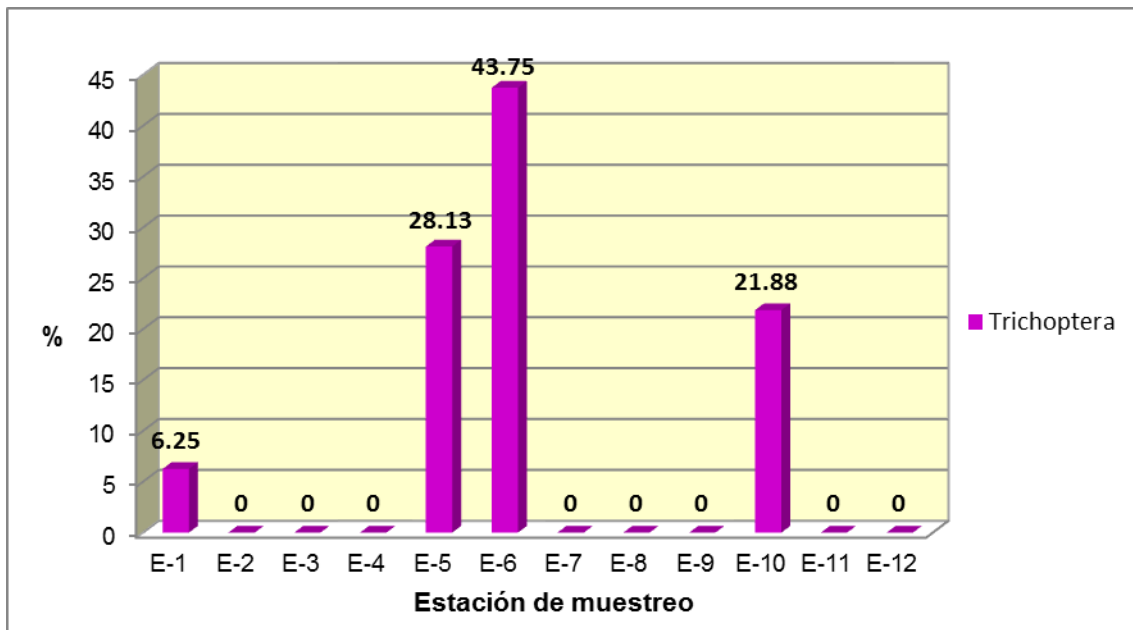


Figura 25. Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Trichoptera en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

El orden Lepidoptera incluye “las mariposas y las palomillas” y estuvo representado solo en dos localidades: la E-1 (García) con un 67% y la E-10 (Agua Fría) con el 33% restante.

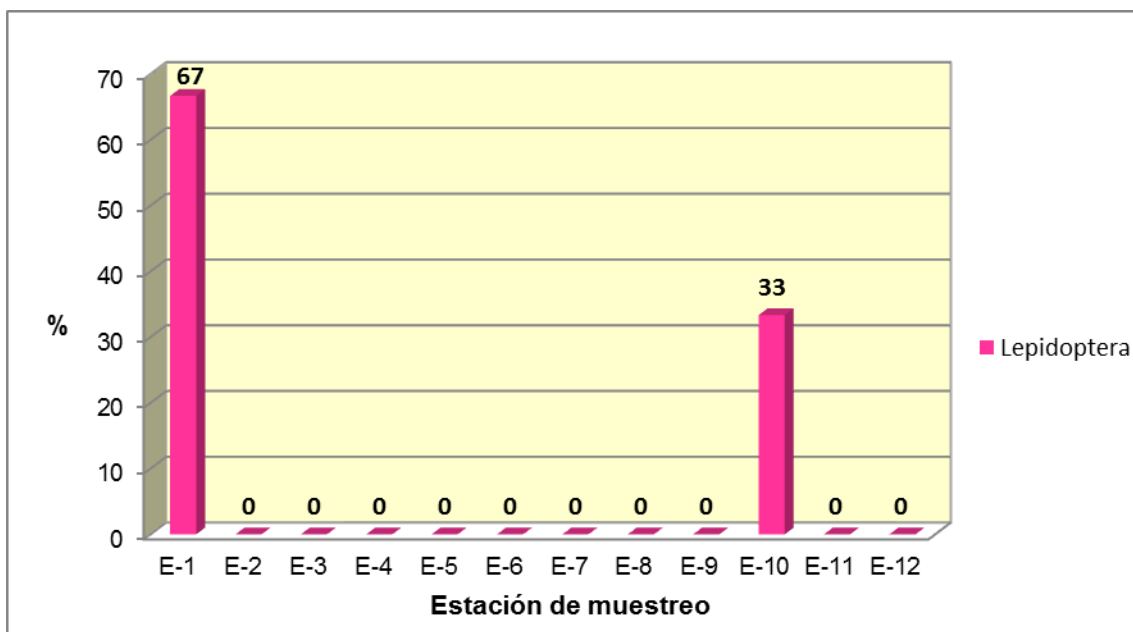


Figura 26. Porcentaje de insectos pertenecientes al orden Lepidoptera en las estaciones de muestreo del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

6.1.1. Abundancia de insectos acuáticos por estación de muestreo

En la estación de muestreo E-1 (García) se colectó un total de 1,764 insectos y dominaron los siguientes géneros y especies: mosca de mayo *Callibaetis* sp. (Ephemeroptera 42.29%), en segundo lugar el caballote *Argia* sp. (Odonata 29.65%), seguido por el mosquito enano *Chironomus plumosus* (11.62% Diptera), la chinche acuática *Ambrysus* sp. (Hemiptera 11.11%), el escarabajo *Berosus* sp. (Coleoptera 4.99%), *Petrophila* sp. (Lepidoptera 0.23%) y, por último, la mosca de cadis *Smicridea* sp. (Trichoptera 0.11%) (Tabla 5 y Figura 27).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 5. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar de la estación de muestreo E-1 (García), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

	Orden	Familia	Genero/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar	
1	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Callibaetis</i> sp.	N	746	62.17	89.37	
2	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.	N	489	40.75	41.52	
3		Gomphidae	<i>Erpetogomphus</i> sp.	N	11	0.92	1.83	
4			<i>Ophiogomphus</i> sp.	N	23	1.92	3.78	
5	Hemiptera	Belostomatidae	<i>Abedus</i> sp.	N	23	1.92	4.12	
6			<i>Abedus</i> sp.	A	21	1.75	1.71	
7		Corixidae	<i>Corisella</i> sp.	A	1	0.08	0.29	
8		Naucoridae	<i>Ambrysus</i> sp. A	N	22	1.83	3.64	
9			<i>Ambrysus</i> sp. A	A	35	2.92	3.53	
10			<i>Ambrysus</i> sp. B	N	48	4.00	6.76	
11			<i>Ambrysus</i> sp. B	A	29	2.42	5.21	
12			<i>Limnocoris</i> sp.	A	8	0.67	1.37	
13			Veliidae	<i>Microvelia</i> sp.	A	9	0.75	1.86
14		Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i> sp.	L	2	0.17	0.39
15	Coleoptera	Dryopidae	<i>Helichus lithophilus</i>	A	1	0.08	0.29	
16		Dytiscidae	<i>Liodessus</i> sp.	A	13	1.08	2.94	
17		Elmidae	<i>Neelmis</i> sp.	L	11	0.92	2.02	
18		Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp.	L	25	2.08	2.57	
19			<i>Berosus</i> sp.	A	16	1.33	1.56	
20			<i>Enochrus</i> sp.	A	6	0.50	1.24	
21			<i>Tropisternus</i> sp.	L	4	0.33	0.65	
22			<i>Tropisternus lateralis</i>	A	2	0.17	0.58	
23			<i>Tropisternus obscurus</i>	A	7	0.58	1.00	
24			Psephenidae	<i>Psephenus</i> sp.	L	3	0.25	0.87
25	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon</i> sp.	L	2	0.17	0.58	
26		Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	128	10.67	9.77	
27		Tabanidae	<i>Atylotus</i> sp.	L	3	0.25	0.87	
28		Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	L	3	0.25	0.62	
29		Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.	L	52	4.33	6.10	
30			<i>Euparyphus</i> sp.	L	17	1.42	2.54	
31	Lepidoptera	Pyralidae	<i>Petrophila</i> sp.	L	4	0.33	0.65	
					Total	1,764		

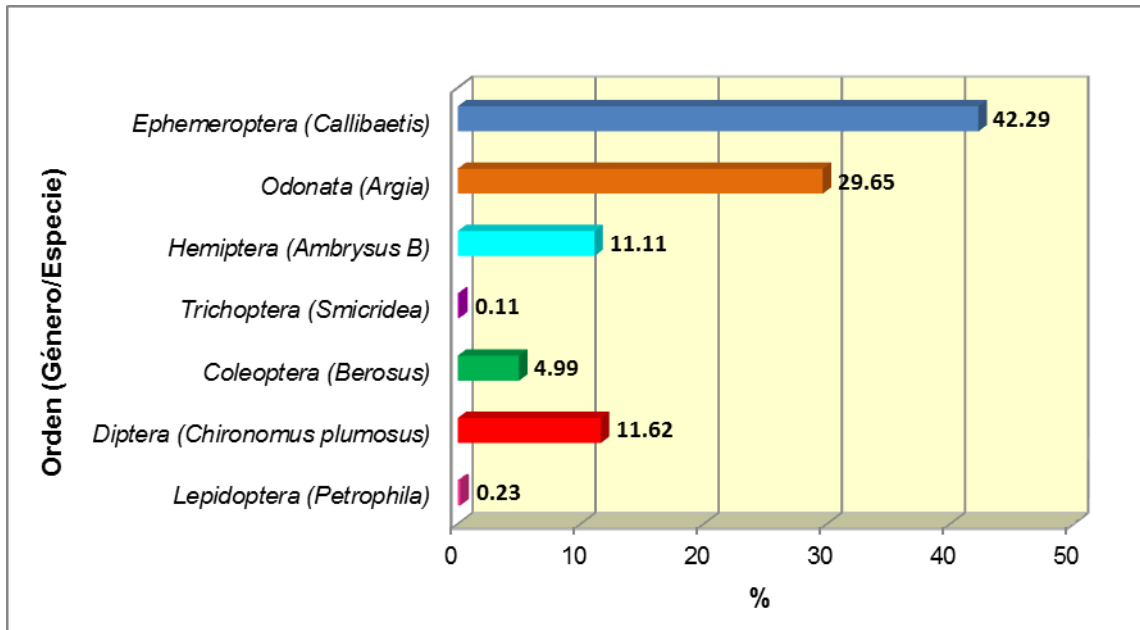


Figura 27. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-1 (García), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

Se contabilizaron 19,062 insectos en la estación E-2 (Fosas), la mayoría fueron larvas de dípteros, dominando las del mosquito *Chironomus plumosus* (Diptera 99.68%) aunque también se encontraron los mosquitos culícidos *Culex franciscanus*, *Cx. interrogator* y *Cx. quinquefasciatus*. El segundo lugar lo ocupó el escarabajo *Tropisternus* sp. (Coleoptera 0.22%), seguido por el caballete *Argia* sp. (0.09%) y, finalmente, la chinche acuática *Ambrysus* sp. (Hemiptera 0.22%) (Tabla 6 y Figura 28).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 6. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-2 (Fosas), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

	Orden	Familia	Género/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar
1	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.	N	13	1.08	2.47
2			<i>Enallagma</i> sp.	N	2	0.17	0.58
3		Gomphidae	<i>Erpetogomphus</i> sp.	N	1	0.08	0.29
4		Liellulidae	<i>Pseudoleon</i> sp.	N	1	0.08	0.29
5	Hemiptera	Naucoridae	<i>Ambrysus</i> sp. A	A	3	0.25	0.87
6	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp.	L	3	0.25	0.62
7			<i>Berosus</i> sp.	A	1	0.08	0.29
8			<i>Hydrobius</i> sp.	L	2	0.17	0.58
9			<i>Tropisternus</i> sp.	L	20	1.67	2.87
10			<i>Tropisternus lateralis</i>	A	10	0.83	1.64
11			<i>Tropisternus obscurus</i>	A	5	0.42	0.90
12	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	17,648	1,470.67	1,520.93
13		Culicidae	<i>Culex franciscanus</i>	L	9	0.75	2.60
14			<i>Culex interrogator</i>	L	26	2.17	7.51
15			<i>Culex quinquefasciatus</i>	L	1,155	96.25	292.97
16		Ephydriidae	<i>Brachydeutera</i> sp.	L	28	2.33	4.87
17			<i>Ephydra</i> sp.	L	57	4.75	8.44
18			<i>Paracoenia</i> sp.	L	5	0.42	0.90
19		Muscidae A		L	1	0.08	0.29
20		Muscidae B		L	1	0.08	0.29
21		Psychodidae	<i>Pericoma</i> sp.	L	1	0.08	0.29
22			<i>Psychoda</i> sp.	L	12	1.00	1.48
23		Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.	L	12	1.00	2.86
24			<i>Euparyphus</i> sp.	L	2	0.17	0.58
25		Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp.	L	44	3.67	4.25
Total					19,062		

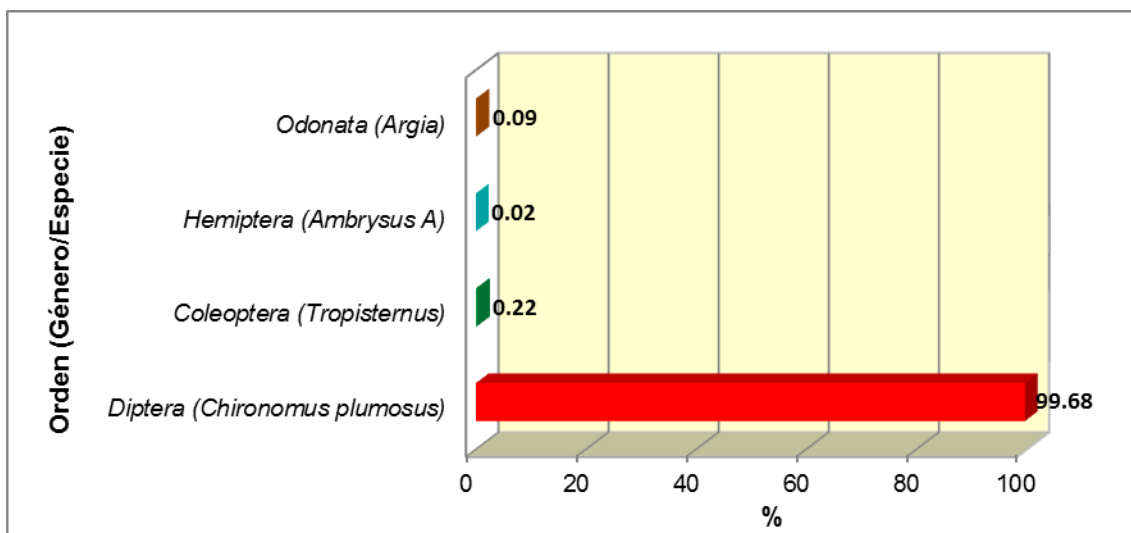


Figura 28. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-2 (Fosas), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

La estación de muestreo E-3 (Lincoln) presentó la menor abundancia de todas las localidades: se colectaron solo 21 insectos del Orden Diptera (100% abundancia) y el género dominante fue *Eristalis* sp. La baja densidad y diversidad de organismos es antecedente de un ecosistema inestable o perturbado (Tabla 7 y Figura 29).

Tabla 7. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-3 (Lincoln), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

	Orden	Familia	Género/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar
1	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	8	0.67	1.37
2		Ephydriidae	<i>Ephydra</i> sp.	L	2	0.17	0.58
3		Muscidae A		L	1	0.08	0.29
4		Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp.	L	10	0.83	1.47
				Total	21		

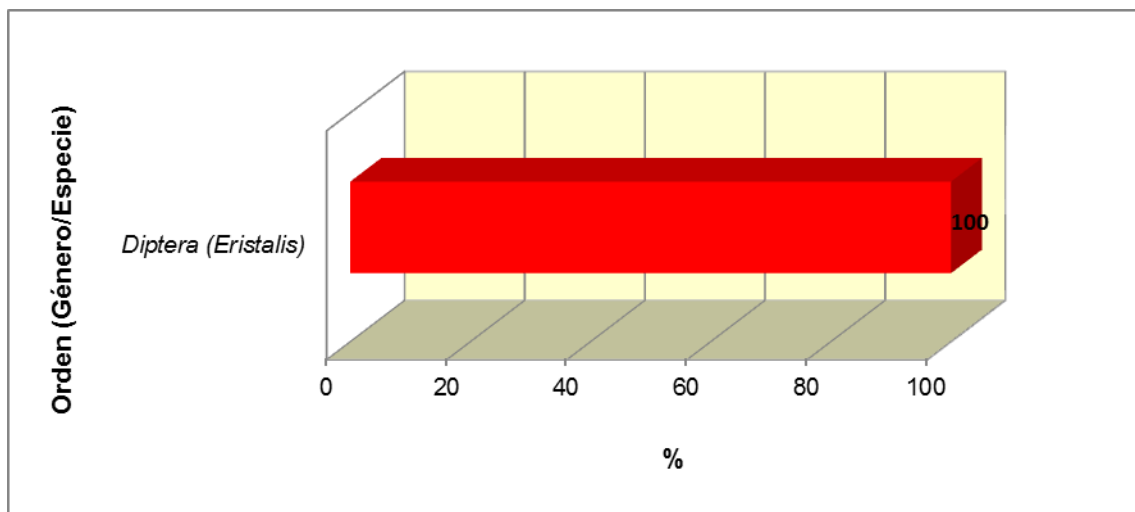


Figura 29. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-3 (Lincoln), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

En la estación E-4 (Av. Monterrey) se colectaron 15,721 insectos y la mayoría de los organismos fueron larvas de *Ch. plumosus* (Diptera 99.10%); aunque también se identificó al mosquito *Culex quinquefasciatus*. El segundo género dominante fue el caballote *Argia* sp. (Odonata 0.61%) y, por último, el escarabajo *Berosus* sp. (Coleoptera 0.29%). Este sitio de estudio se caracterizó por presentar siempre grandes cantidades de basura y desechos de todo tipo, generados por los vecinos de asentamientos irregulares y áreas aledañas que lo utilizan prácticamente como basurero, además de tener descargas de drenaje sanitario directas al río (Tabla 8 y Figura 30).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 8. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-4 (Av. Monterrey), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

	Orden	Familia	Género/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar	
1	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.	N	79	6.58	12.12	
2			<i>Nehalennia</i> sp.	N	4	0.33	0.78	
3		Gomphidae	<i>Erpetogomphus</i> sp.	N	8	0.67	1.72	
4			<i>Ophiogomphus</i> sp.	N	5	0.42	0.67	
5	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp.	L	32	2.67	4.42	
6			<i>Berosus</i> sp.	A	13	1.08	1.73	
7			<i>Tropisternus</i> sp.	L	1	0.08	0.29	
8	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	12,656	1,054.67	939.10	
9		Culicidae	<i>Culex quinquefasciatus</i>	L	2,359	196.58	642.51	
10		Ephydriidae	<i>Brachydeutera</i> sp.	L	2	0.17	0.58	
11			<i>Ephydra</i> sp.	L	533	44.42	50.36	
12			<i>Paracoenia</i> sp.	L	2	0.17	0.58	
13		Muscidae B			L	2	0.17	0.39
14		Psychodidae	<i>Psychoda</i> sp.		L	24	2.00	5.17
15		Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.		L	1	0.08	0.29
Total					15,721			

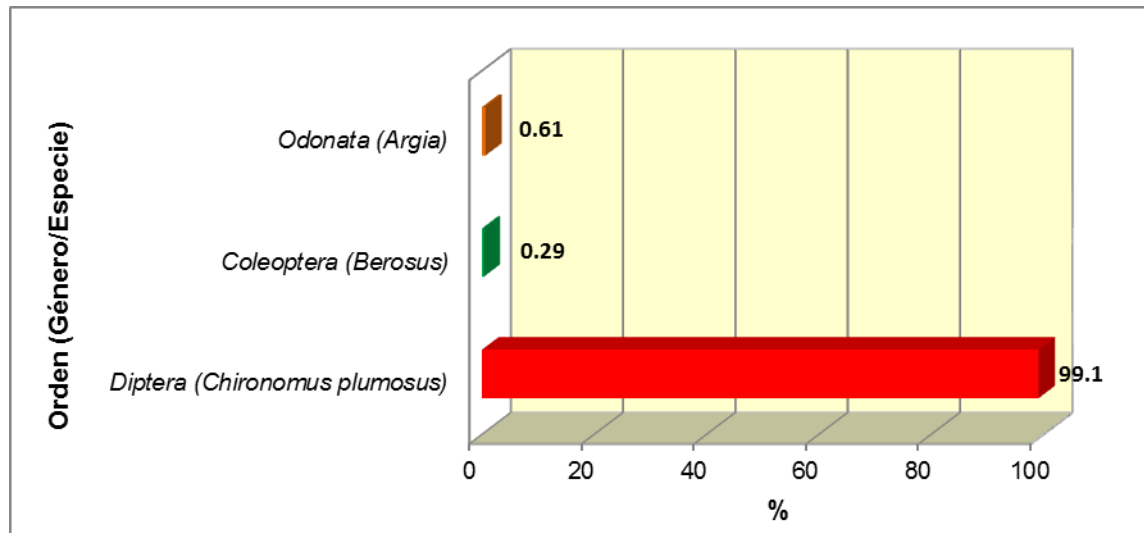


Figura 30. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-4 (Av. Monterrey), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

Se identificaron 18,530 ejemplares en la estación de muestreo E-5 (Parque Industrial). Las densidades más altas correspondieron, una vez más, a las larvas de dípteros, dominando *Ch. plumosus* (Diptera 98.47%); aunque se identificaron también los mosquitos *Culex declarator*, *Cx. quinquefasciatus* y *Cx. tarsalis*; con menor proporción le siguió el escarabajo *Berosus* sp. (Coleoptera 0.92%), el caballote *Argia* sp (Odonata 0.49%), la mosca de mayo *Callibaetis* sp. (Ephemeroptera 0.06%) y, finalmente, la mosca de cadis *Smicridea* sp. (Trichoptera 0.05%). Se manifiesta de nuevo la posibilidad de contaminación del agua con metales pesados (Tabla 9 y Figura 31).

Tabla 9. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-5 (Parque Industrial), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

	Orden	Familia	Género/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar
1	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Callibaetis</i> sp.	N	12	1.00	2.86
2	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.	N	85	7.08	5.99
3			<i>Nehalennia</i> sp.	N	1	0.08	0.29
4		Gomphidae	<i>Erpetogomphus</i> sp.	N	5	0.42	0.51
5	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i> sp.	L	9	0.75	2.60
6	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp.	L	104	8.67	8.86
7			<i>Berosus</i> sp.	A	52	4.33	7.40
8			<i>Tropisternus</i> sp.	L	14	1.17	3.74
9			<i>Tropisternus obscurus</i>	A	1	0.08	0.29
10	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	18,226	1,518.83	1,032.81
11		Culicidae	<i>Culex declarator</i>	L	1	0.08	0.29
12			<i>Culex quinquefasciatus</i>	L	15	1.25	4.33
13			<i>Culex tarsalis</i>	L	1	0.08	0.29
14		Ephydriidae	<i>Ephydra</i> sp.	L	2	0.17	0.58
15		Stratiomyidae	<i>Euparyphus</i> sp.	L	1	0.08	0.29
16	<i>Stratiomys</i> sp.		L	1	0.08	0.29	
Total					18,530		

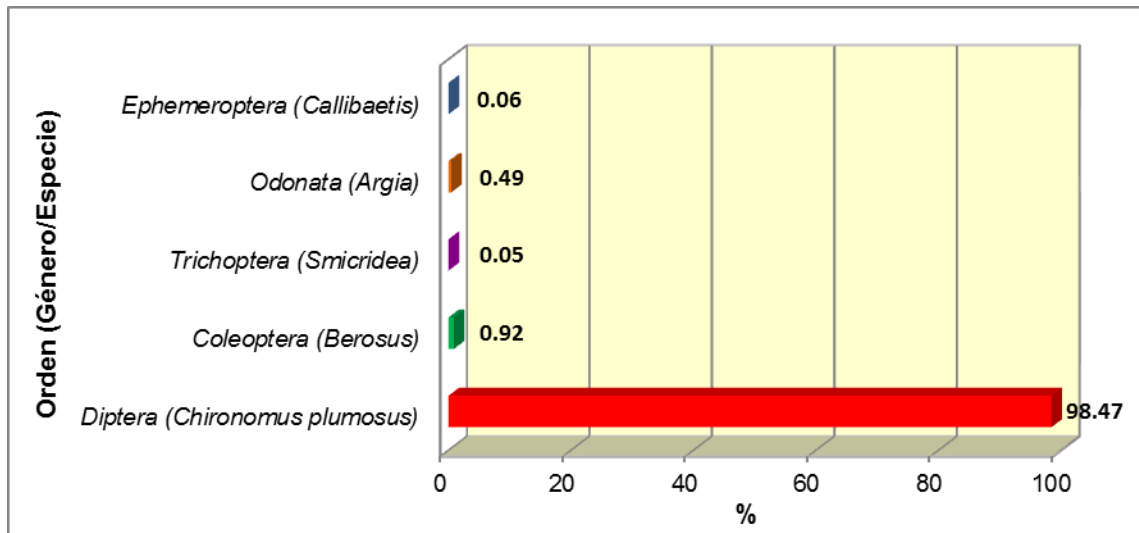


Figura 31. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-5 (Parque Industrial), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

La densidad total de la estación E-6 (Colombia) fue de 9,878 insectos, la mayoría fueron larvas de dípteros, dominando *Ch. plumosus* (Diptera 93.95%), en segundo lugar, el escarabajo *Berosus* sp. (Coleoptera 5.20%), después el caballete *Argia* sp. (Odonata 0.60%); la mosca de cadis *Metricha* sp. (Trichoptera 0.14%) y, en último lugar, la mosca de mayo *Callibaetis* sp. (Ephemeroptera 0.11%) (Tabla 10 y Figura 32).

En la estación de muestreo E-7 (PTAR Norte) se cuantificaron 15,597 insectos, en su mayoría del orden Diptera (99.97%) y la especie dominante también fue *Chironomus plumosus*, seguida por el caballete *Argia* sp. (Odonata 0.02%) y el escarabajo *Berosus* sp. (Coleoptera 0.01%). La descarga de agua de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en este sitio crea las condiciones favorables para el desarrollo de *Ch. plumosus* (Tabla 11 y Figura 33).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 10. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-6 (Colombia), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

	Orden	Familia	Género/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar
1	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Callibaetis</i> sp.	N	11	0.92	2.61
2	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.	N	48	4.00	2.70
3			<i>Nehalennia</i> sp.	N	1	0.08	0.29
4			Gomphidae	<i>Erpetogomphus</i> sp.	N	6	0.50
5		<i>Ophiogomphus</i> sp.		N	1	0.08	0.29
6		Libellulidae	<i>Nannothemis</i> sp.	N	2	0.17	0.58
7			<i>Pseudoleon</i> sp.	N	1	0.08	0.29
8		Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Metricha</i> sp.	L	14	1.17
9	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp.	L	341	28.42	29.43
10			<i>Berosus</i> sp.	A	142	11.83	12.53
11			<i>Enochrus</i> sp.	A	1	0.08	0.29
12			<i>Tropisternus</i> sp.	L	24	2.00	3.46
13			<i>Tropisternus lateralis</i>	A	1	0.08	0.29
14			<i>Tropisternus obscurus</i>	A	5	0.42	0.67
15	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon</i> sp.	L	4	0.33	0.78
16		Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	9,253	771.08	707.42
17		Culicidae	<i>Anopheles franciscanus</i>	L	2	0.17	0.58
18		Ephydriidae	<i>Ephydra</i> sp.	L	8	0.67	1.15
19			<i>Paracoenia</i> sp.	L	2	0.17	0.58
20		Muscidae A		L	3	0.25	0.87
21		Muscidae B		L	2	0.17	0.58
22		Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.	L	6	0.50	0.80
Total					9,878		

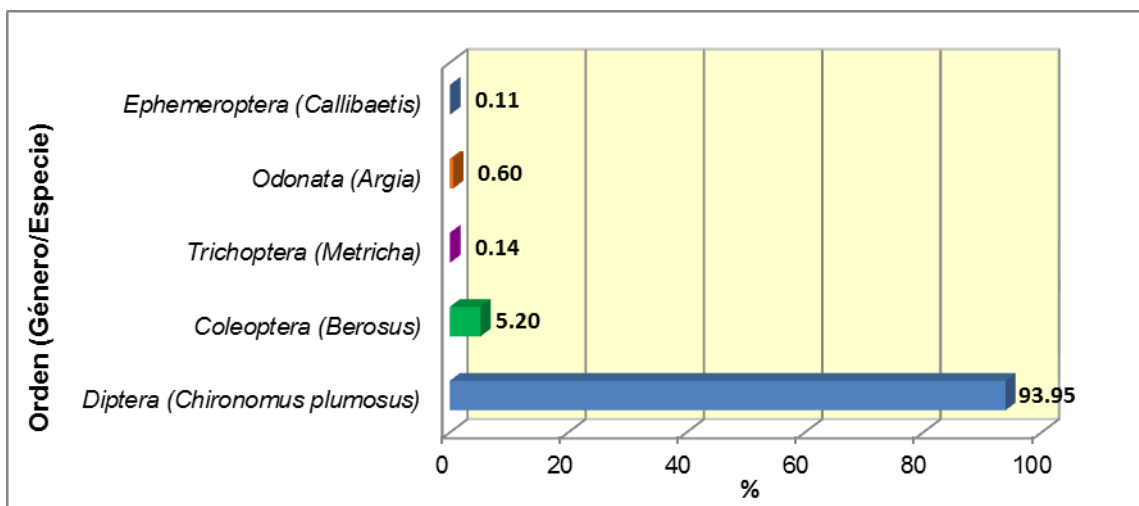


Figura 32. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-6 (Colombia), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 11. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-7 (PTAR Norte), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

	Orden	Familia	Género/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar
1	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.	N	2	0.17	0.58
2		Gomphidae	<i>Erpetogomphus</i> sp.	N	1	0.08	0.29
3	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp.	L	1	0.08	0.29
4	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	15,149	1,262.42	1,054.28
5		Ephydriidae	<i>Ephydra</i> sp.	L	21	1.75	6.06
6		Muscidae B		L	5	0.42	1.00
7		Psychodidae	<i>Pericoma</i> sp.	L	12	1.00	3.46
8			<i>Psychoda</i> sp.	L	394	32.83	73.50
9		Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.	L	12	1.00	3.46
Total					15,597		

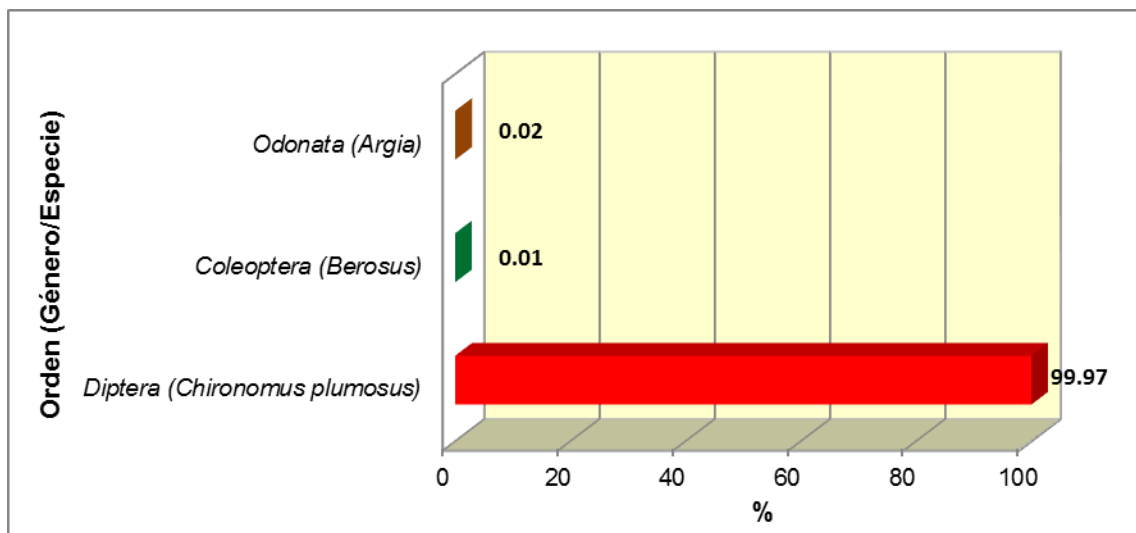


Figura 33. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-7 (PTAR Norte), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

En la estación de muestreo E-8 (Laredo) se colectó un total de 11,129 insectos: el 100% correspondió al orden Diptera y la especie dominante *Chironomus plumosus* una vez más, lo que hace al sitio apto para considerarlo contaminado (Tabla 12 y Figura 16).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 12. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-8 (Laredo), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

	Orden	Familia	Género/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar
1	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	10,732	894.33	750.86
2		Ephydriidae	<i>Brachydeutera</i> sp.	L	1	0.08	0.29
3		Psychodidae	<i>Psychoda</i> sp.	L	396	33.00	78.66
Total					11,129		

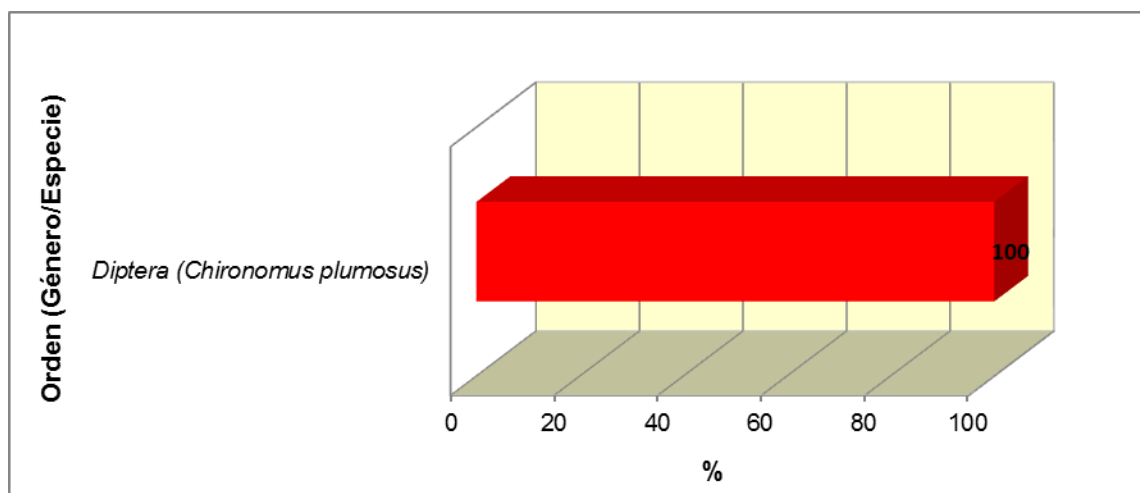


Figura 34. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-8 (Laredo,) del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

En la estación de muestreo E-9 (Sta. Rosa) se cuantificaron 10,759 insectos y siguió marcada la tendencia de la mayor densidad en larvas de dípteros (99.96%). La especie dominante, con gran ventaja, fue *Ch. plumosus*, y con un valor muy inferior se detectó el caballote *Nehalennia* sp. (Odonata 0.03%), luego el escarabajo *Berosus* sp. (0.01%). Fue común observar vecinos de la localidad con ganado vacuno y caprino dentro del río, además de contar en lugares próximos con cría de aves de corral (Tabla 13 y Figura 35).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 13. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-9 (Sta. Rosa), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

	Orden	Familia	Género/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar
1	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.	N	1	0.08	0.29
2			<i>Nehalenniasp.</i>	N	2	0.17	0.58
3	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp.	L	1	0.08	0.29
4	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	10,732	894	592.38
5		Culicidae	<i>Culex quinquefasciatus</i>	L	1	0.08	0.29
6		Ephydriidae	<i>Ephydra</i> sp.	L	1	0.08	0.29
7			<i>Paracoenia</i> sp.	L	3	0.25	0.87
8		Muscidae B		L	1	0.08	0.29
9		Psychodidae	<i>Pericoma</i> sp.	L	3	0.25	0.87
10			<i>Psychoda</i> sp.	L	10	0.83	1.75
11		Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.	L	3	0.25	0.87
12		Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp.	L	1	0.08	0.29
Total					10,759		

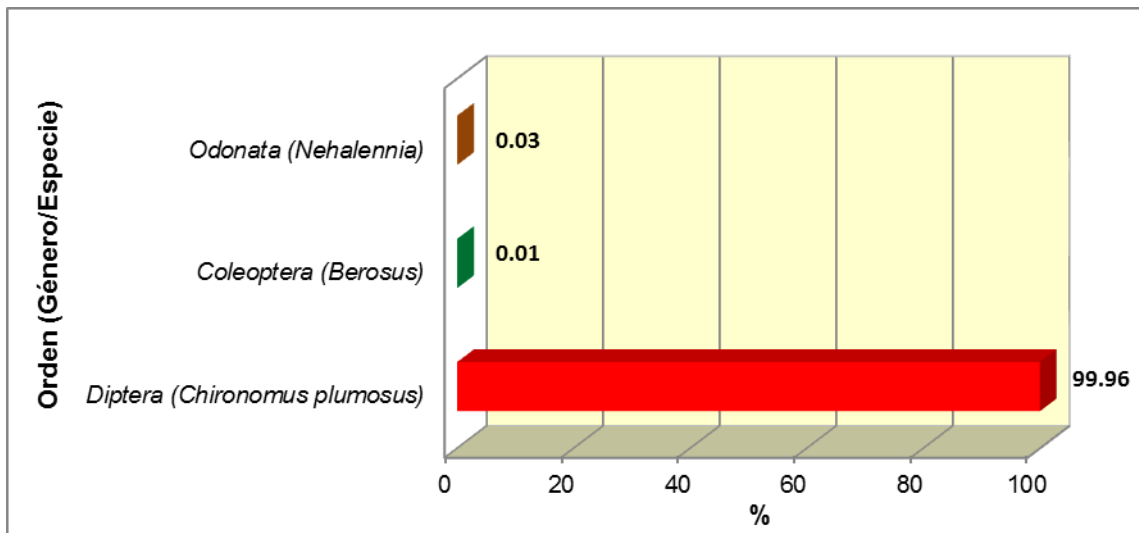


Figura 35. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-9 (Sta. Rosa), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

Un total de 25,840 insectos se colectaron en la estación de muestreo E-10 (Agua Fría): en su mayoría, correspondieron a larvas de dípteros (99.83%), la especie que predominó fue *Ch. plumosus* seguida con una densidad muy inferior por el caballote *Argia* sp. (Odonata 0.10%), la mosca de cadis

Smicridea sp. (Trichoptera 0.03%), el escarabajo *Tropisternus* sp. (Coleoptera 0.02%), la mosca de mayo *Callibaetis* sp. (Odonata) y *Petrophila* sp. (Lepidoptera) ocuparon el 0.01%. Se observaron descargas directas al río, de agua residual generada por los vecinos que viven al margen del río, además de la presencia de ganado vacuno (Tabla 14 y Figura 36).

Tabla 14. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-10 (Agua Fría), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

	Orden	Familia	Género/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar
1	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Callibaetis</i> sp.	N	3	0.25	0.87
2	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.	N	24	2.00	4.41
3		Gomphidae	<i>Ophiogomphus</i> sp.	N	2	0.17	0.58
4	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i> sp.	L	7	0.58	2.02
5	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp.	L	1	0.08	0.29
6			<i>Hydrochara</i> sp.	A	1	0.08	0.29
7			<i>Tropisternus</i> sp.	L	3	0.25	0.87
8	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	25,791	2,149	1,886
9		Ephydriidae	<i>Ephydra</i> sp.	L	2	0.17	0.58
10		Psychodidae	<i>Psychoda</i> sp.	L	3	0.25	0.62
11		Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.	L	1	0.08	0.29
12	Lepidoptera	Pyralidae	<i>Petrophila</i> sp.	L	2	0.17	0.58
Total					25,840		

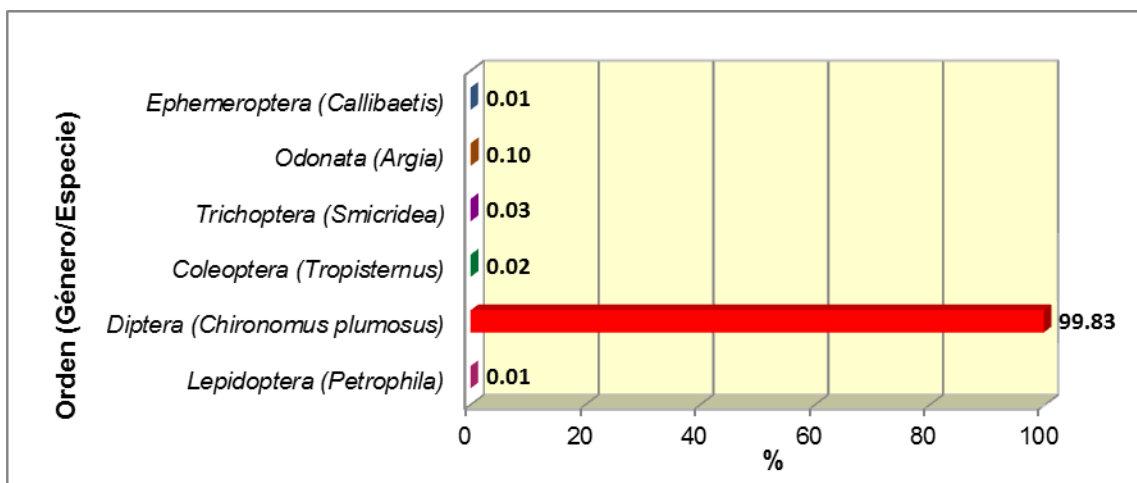


Figura 36. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-10 (Agua Fría,) del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

En la estación de muestreo E-11 (Pesquería), se colectaron e identificaron 11,783 insectos: se presentó el mismo patrón donde las larvas de dípteros predominaron notablemente en un 99.30% y la especie con mayor abundancia fue también *Ch. plumosus*. Con una abundancia muy inferior le siguió el caballote *Argia* sp. (Odonata 0.69%) y con solo un ejemplar del escarabajo *Tropisternus obscurus* (Coleoptera 0.01%). También se observó la presencia de ganado vacuno y caprino durante los muestreos. La localidad se encuentra antes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Pesquería (Tabla 15 y Figura 37).

Tabla 15. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-11 (Pesquería), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

	Orden	Familia	Género/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar
1	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.	N	80	6.67	12.12
2		Gomphidae	<i>Ophiogomphus</i> sp.	N	1	0.08	0.29
3	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Tropisternus obscurus</i>	A	1	0.08	0.29
4	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	11,696	974.67	661.56
5		Ephydriidae	<i>Ephydra</i> sp.	L	1	0.08	0.29
6		Psychodidae	<i>Psychoda</i> sp.	L	2	0.17	0.58
7		Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.	L	2	0.17	0.58
Total					11,783		

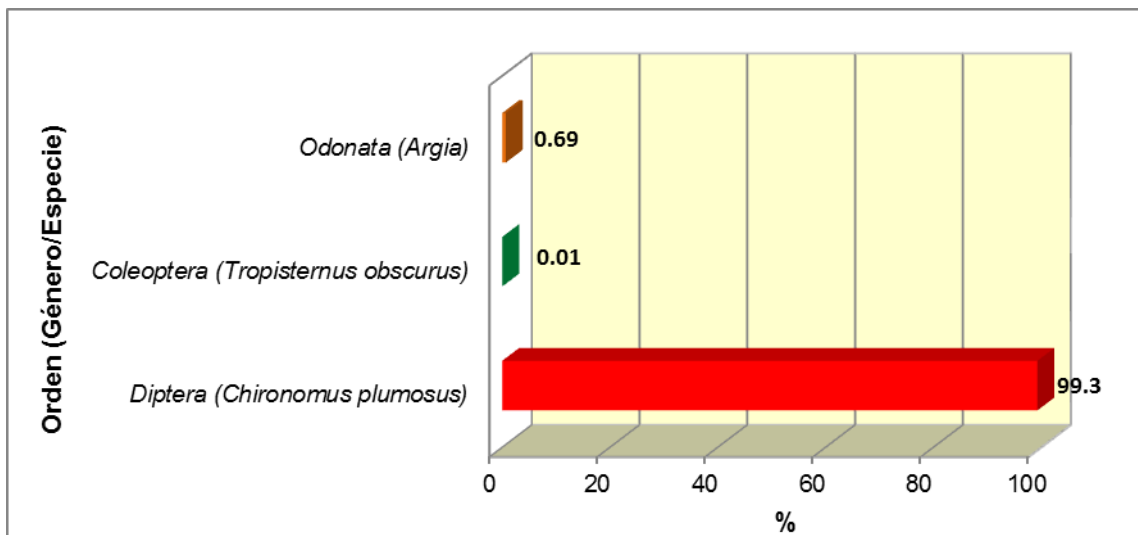


Figura 37. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-11 (Pesquería), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

En la estación de muestreo E-12 (Adjuntas) fueron colectados 43,205 insectos: el 99.954% correspondió a larvas de dípteros y la especie dominante resultó ser *Ch. plumosus* (Diptera 99.954%), con una abundancia muy inferior le siguió el caballote *Argia* sp. (Odonata 0.028%), el escarabajo *Berosus* sp. (Coleoptera 0.012%), la chinche acuática *Abedus* sp. (Hemiptera 0.005%) y solo un ejemplar de la mosca de mayo *Callibaetis* sp. (0.002%). Ésta fue la última estación de muestreo y la especie dominante *Ch. plumosus*, a lo largo del estudio, mantuvo la posibilidad de que hay contaminación del agua por metales pesados (Tabla 16 y Figura 38).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 16. Listado de insectos acuáticos colectados, su estado de desarrollo, densidad, media y desviación estándar en la estación de muestreo E-12 (Adjuntas), en el Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

Orden	Familia	Género/Especie	Estadio	Total	Media	Desviación estándar
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Callibaetis</i> sp.	N	1	0.08	0.29
Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.	N	12	1.00	1.71
Hemiptera	Belostomatidae	<i>Abedus</i> sp.	A	2	0.17	0.58
Coleoptera	Elmidae	<i>Neoelmis</i> sp.	L	1	0.08	0.29
	Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp.	A	3	0.25	0.62
		<i>Tropisternus lateralis</i>	A	1	0.08	0.29
Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	L	43,177	3,598	5,016
	Muscidae B		L	2	0.17	0.58
	Psychodidae	<i>Pericoma</i> sp.	L	3	0.25	0.87
	Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.	L	2	0.17	0.58
	Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp.	L	1	0.08	0.29
Total				43,205		

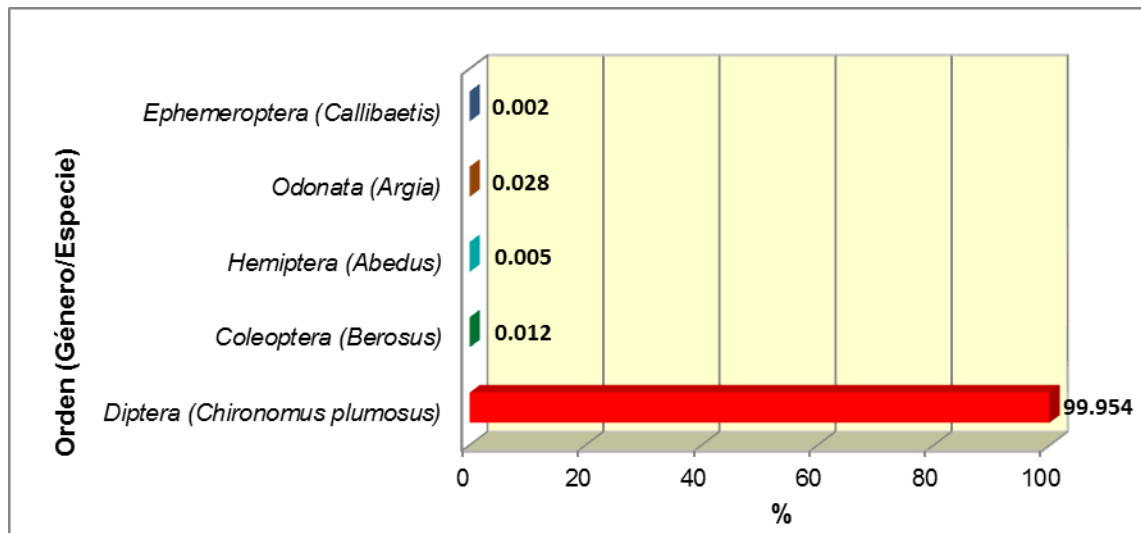


Figura 38. Porcentaje de insectos colectados y género/especie abundante en la estación de muestreo E-12 (Adjuntas), del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

4.1.2. Determinación del estado ecológico del Río Pesquería, mediante el índice de diversidad de especies de Shannon-Weinner

Se calculó el promedio global de los índices por estación de muestreo y se observó que la localidad E-1 (García) presentó el valor más alto de 0.6597, seguido por la estación E-6 (Colombia) con 0.1738, después la E-4 (Av. Monterrey) con 0.1488, E-2 (Fosas) con 0.0980, posteriormente la E-7 (PTAR Norte) con 0.0623, la E-3 (Lincoln) con 0.0595, le siguió la E-5 (Parque Industrial) con 0.0553, enseguida la E-8 (Laredo) con 0.0509, la E-11 (Pesquería) con 0.0259, seguida por la E-12 (Adjuntas) con 0.0112, la E-10 (Agua Fría) con 0.0092 y por último, la E-9 (Sta. Rosa), con 0.0090 (Tabla 17).

Los índices de diversidad, de acuerdo con Shannon-Weinner, mostraron que para la estación E-1 (García), el valor mayor se obtuvo en el muestreo del 28 de marzo (fue el máximo valor, registrado de todas las estaciones) y el menor el 15 de noviembre con 0.2442; para la E-2 (Fosas) el mayor fue de 0.2541 el 14 de febrero y el menor fue de 0 el 30 de noviembre; en la E-3 (Lincoln) el valor máximo fue el 28 de marzo con 0.3010 y a excepción de los muestreos del 28 de febrero y 28 de abril, en el resto se obtuvo un valor de cero; la E-4 (Av. Monterrey) registró el máximo valor, de 0.2918 el 28 de abril y el menor de 0.0469 el 31 de enero; el mayor valor en la E-5 (Parque Industrial), fue de 0.1715 el 28 de abril y el menor 0.0082 el 14 de abril; la E-6 (Colombia) registró el valor máximo de 0.5705 el 14 de abril y el menor de 0.0065 el 30 de

noviembre; la E-7 (PTAR Norte) presentó el máximo de 0.2559 el 15 de marzo y cero en 6 muestreos; de los tres valores obtenidos en la E-8 (Laredo) el máximo fue de 0.2914 el 28 de marzo y cero en los demás muestreos; similar en la E-9 (Sta. Rosa), el valor mayor fue 0.0325 el 14 de abril y cero en 7 muestreos; la E-10 (Agua Fría) registró el máximo de 0.0574 el 30 de noviembre y cero en 7 muestreos; la E-11 (Pesquería) el mayor índice se presentó el 28 de abril con 0.1032 y el mínimo de cero el 31 de enero; por último, en la E-12 (Adjuntas) el mayor índice fue de 0.0417 el 28 de diciembre y cero en 4 muestreos (Tabla 17).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 17. Valores obtenidos en el Río Pesquería según el índice de diversidad de especies Shannon-Weinner.

Muestreo	Fecha	ESTACIONES DE MUESTREO											
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12
1	15-nov-12	0.2442	0.0131	0.0000	0.0752	0.0886	0.0134	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0134	0.0373
2	30-nov-12	0.3989	0.0000	0.0000	0.2087	0.0581	0.0065	0.0000	0.0000	0.0000	0.0574	0.1026	0.0321
3	15-dic-12	0.4512	0.0380	0.0000	0.2411	0.0875	0.0741	0.0000	0.0000	0.0159	0.0049	0.0231	0.0000
4	28-dic-12	0.6783	0.0319	0.0000	0.0620	0.0649	0.0251	0.0000	0.0000	0.0000	0.0041	0.0186	0.0417
5	15-ene-13	0.7831	0.0168	0.0000	0.1398	0.0314	0.0356	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0183	0.0069
6	31-ene-13	0.7816	*	0.0000	0.0469	0.0503	0.3214	0.0061	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	14-feb-13	0.6954	0.2541	0.0000	0.0471	0.0321	0.0785	0.0037	0.0000	0.0000	0.0000	0.0071	0.0024
8	28-feb-13	0.5675	0.0497	0.2173	0.0539	0.0489	0.2041	0.0000	0.0000	0.0000	0.0065	0.0041	0.0048
9	15-mar-13	0.6473	0.1140	0.0000	0.1496	0.0085	0.2106	0.2559	0.0000	0.0254	0.0000	0.0065	0.0062
10	28-mar-13	1.1041	0.2345	0.3010	0.2008	0.0140	0.1233	0.2319	0.2914	0.0188	0.0000	0.0016	0.0000
11	14-abr-13	0.8638	0.0771	0.0000	0.2688	0.0082	0.5705	0.1665	0.1699	0.0325	0.0000	0.0129	0.0000
12	28-abr-13	0.7012	0.2487	0.1957	0.2918	0.1715	0.4229	0.0840	0.1497	0.0156	0.0372	0.1032	0.0027
	Promedios	0.6597	0.0980	0.0595	0.1488	0.0553	0.1738	0.0623	0.0509	0.0090	0.0092	0.0259	0.0112

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), (E-10) Agua Fría, (E-11) Pesquería y (E-12) Adjuntas

* No se realizó el muestreo en la estación E-2 (Fosas) por motivos de seguridad del personal.

4.1.3. Estimación de la calidad del agua mediante índices bióticos

4.1.3.1 Determinación de la calidad del agua con el Índice de diversidad de especies de Shannon-Weinner.

Se considera que una comunidad es más compleja mientras mayor sea el número de especies que la compongan y mientras menos dominancia presenten una o pocas especies con respecto a las demás; un mayor número de especies incrementa la diversidad y, además, una mayor uniformidad también lo hará, por lo tanto, a mayor diversidad de especies mayor estabilidad del sistema. El Índice de Shannon-Weinner que estima la diversidad de una comunidad se ha utilizado para definir la calidad del agua. Se han establecido tres categorías para interpretar los valores obtenidos:

- 1) Sistema polisaprobio equivalente a eutrófico con valores entre 0 y 1, se trata de agua con abundante materia orgánica y baja concentración de oxígeno disuelto.
- 2) Sistema mesosaprobio equivalente a mesotrófico con valores entre 1 y 2, con una moderada concentración de materia orgánica y oxígeno disuelto.
- 3) Sistema oligosaprobio u oligotrófico, con valores entre 2 al 3. El agua se caracteriza por una baja concentración de materia orgánica y una alta concentración de oxígeno disuelto.

De acuerdo con los valores obtenidos en la Tabla 15, donde se detallaron los valores máximos y mínimos obtenidos en cada estación de muestreo, se observó que solo en el muestreo realizado el 28 de marzo, el valor del índice superó el 1.0 (E-I García) y se catalogó como agua mesosaprobia. Los demás valores obtenidos en el resto de las estaciones incluyendo la E-I fluctuaron entre 0 y 0.5705 en todo el estudio, lo que categorizó todos los datos registrados en este cuerpo acuático dentro del intervalo para un sistema polisaprobio (Figura 39).

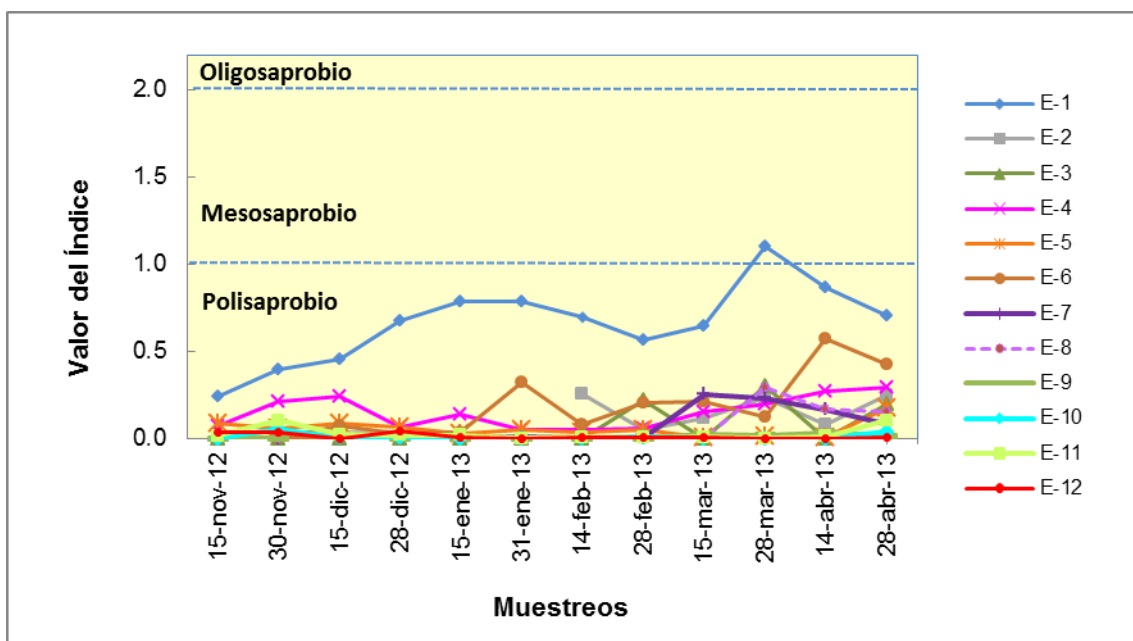


Figura 39. Categorización del Río Pesquería, de acuerdo con el Índice de Shannon-Weiner, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.1.3.2 Tipo de impacto según el valor de riqueza de especies.

Al analizar los datos obtenidos de manera global se obtuvieron en promedio valores de riqueza de especies que fluctuaron entre 10 y 1. A la estación E-1 (García) le correspondió el valor mayor y el menor a las estaciones de muestreo E-3 (Lincoln) y E-8 (Laredo). En las estaciones E-2 (Fosas) y E-6 (Colombia) se presentó un valor de 6; un valor de 5 en la E-4 (Av. Monterrey) y E-5 (Parque Industrial) y en las estaciones restantes un valor de 2 (Tabla 18).

Al revisar los valores de riqueza de especies obtenidos por estación en cada muestreo resaltó que en la E-1 (García) el mayor valor fue de 17, el 28 de marzo, y en los demás muestreos se mantuvieron valores altos también; por lo tanto, la categoría que le corresponde es de área moderadamente impactada. En la E-2 (Fosas) el máximo valor fue de 13; el 14 de febrero (solo aquí se catalogó como área moderadamente impactada); en los demás muestreos se mantuvo en 10 en dos de ellos y por debajo en los restantes; esto lo catalogó, en general, como área severamente impactada. De acuerdo con los valores registrados de la estación E-3 (Lincoln) a la E-12 (Adjuntas), en todos los muestreos se categorizaron como áreas severamente impactadas. De manera general, solo la E-1(García) pertenece a un área moderadamente impactada; en seis muestreos, todas las demás estaciones monitoreadas estuvieron dentro de los niveles de severamente impactadas (Figura 40).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 18. Valores de riqueza de especies del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

Muestreo	Fecha	ESTACIONES DE MUESTREO (n=)											
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12
1	15-nov-12	2(4)	1(210)	1(1)	2(48)	4(1025)	2(411)	1(3701)	1(951)	1(773)	1(605)	2(411)	2(59)
2	30-nov-12	3(12)	1(366)	1(1)	4(253)	3(192)	2(481)	1(736)	1(451)	1(2078)	3(338)	2(105)	2(71)
3	15-dic-12	14(206)	7(3904)	1(1)	6(772)	6(420)	3(115)	1(2753)	1(2380)	2(167)	2(669)	2(427)	1(73)
4	28-dic-12	9(54)	2(287)	0	6(630)	4(1647)	3(664)	1(1248)	1(1010)	1(169)	2(811)	3(762)	3(413)
5	15-ene-12	9(43)	5(1612)	0	5(397)	4(1063)	4(2085)	1(615)	1(159)	1(1257)	1(471)	3(322)	3(2474)
6	31-ene-13	16(244)	*	0	6(1139)	5(1721)	5(324)	1(1038)	1(1934)	1(1634)	1(1802)	1(782)	1(717)
7	14-feb-13	15(190)	13(494)	0	6(3583)	3(661)	8(1901)	2(1816)	1(825)	1(642)	1(3964)	2(1290)	2(1497)
8	28-feb-13	13(492)	8(3391)	2(5)	6(2046)	6(1564)	6(533)	1(851)	1(1601)	1(1121)	4(3328)	3(1816)	2(2255)
9	15-mar-13	9(179)	10(1770)	0	2(1422)	5(3382)	8(1242)	2(163)	1(941)	3(868)	1(3735)	2(1428)	3(2204)
10	28-mar-13	17(126)	5(63)	2(4)	6(765)	3(335)	10(1715)	2(328)	2(233)	4(501)	1(1092)	2(2306)	1(16307)
11	14-abr-13	11(60)	9(1814)	1(3)	7(1378)	3(2351)	10(229)	4(1022)	3(305)	6(1248)	1(6390)	2(1289)	1(8031)
12	28-abr-13	6(51)	10(5151)	1(6)	6(3288)	9(1199)	7(178)	5(1326)	2(339)	2(341)	9(2635)	4(845)	4(9104)
Promedios		10	6	1	5	5	6	2	1	2	2	2	2

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fria), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

* No se realizó el muestreo en la estación E-2 (Fosas) por motivos de seguridad del personal.

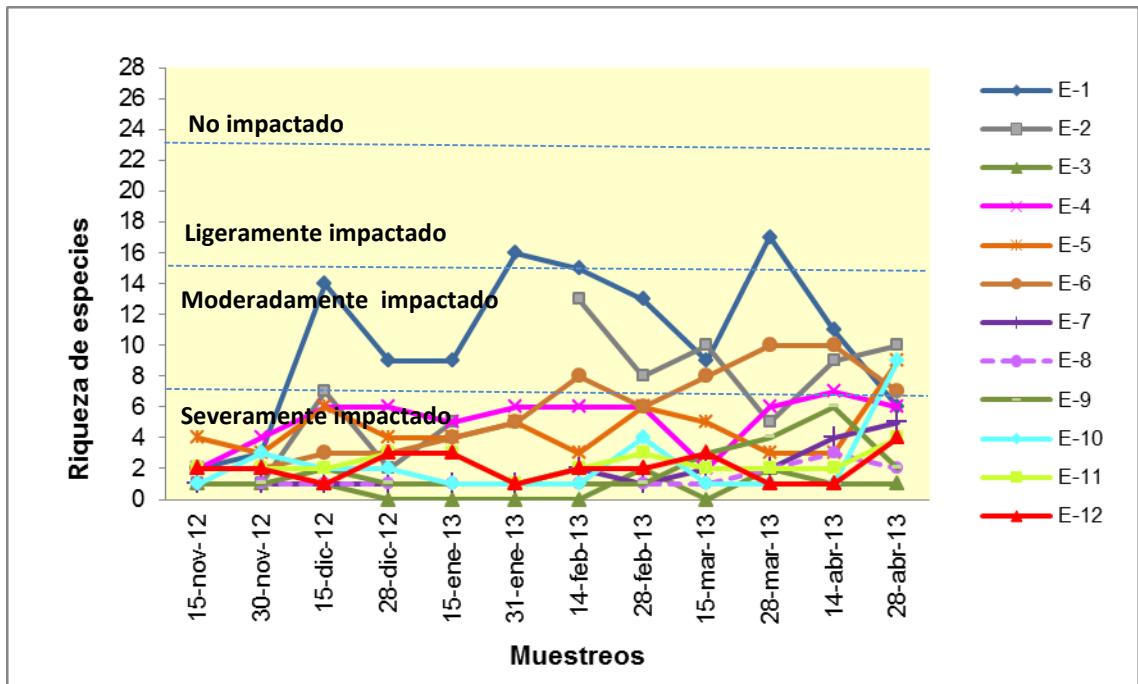


Figura 40. Tipo de impacto según el valor de riqueza de especies, para doce estaciones del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 - abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.1.3.3 Tipo de impacto en el Río Pesquería según el valor EPT.

El índice EPT incluye a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. En este índice, lo ideal son colectas que incluyan más de 100 organismos por muestreo, aunque en varias estaciones no se alcanzó este valor. El orden Plecoptera no se encontró en ninguna estación a lo largo del estudio, de manera que solo se consideró al orden Ephemeroptera, representado por la mosca de mayo *Callibaetis* y dos géneros de moscas de cadis *Smicridea* y *Metricha* (Trichoptera).

En la estación de muestreo E-1 (García) se obtuvo el valor EPT mayor de

todo el estudio, que fue de 2 el 31 de enero y 14 de febrero. Solo en estos muestreos se categorizó la estación como un sistema moderadamente impactado; los demás correspondieron a un sistema severamente impactado; en cambio, en las estaciones E-5, E-6, E-10 y E-12 se obtuvieron valores de 1 y solo en 3 muestreos máximo; los demás muestreos y estaciones tuvieron un valor de 0. Esto indica que de las estaciones E-2 (Fosas) a la E-12 (Adjuntas) se categorizaron como un sistema severamente impactado (Tabla 19 y Figura 41).

Tabla 19. Valores obtenidos según el EPT del Río Pesquería, durante el periodo noviembre 2012 – abril 2013.

Muestreo	Fecha	ESTACIONES DE MUESTREO											
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12
1	15-nov-12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	30-nov-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15-dic-12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	28-dic-12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15-ene-12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	31-ene-13	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	14-feb-13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	28-feb-13	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	15-mar-13	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
10	28-mar-13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	14-abr-13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	28-abr-13	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Promedios		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

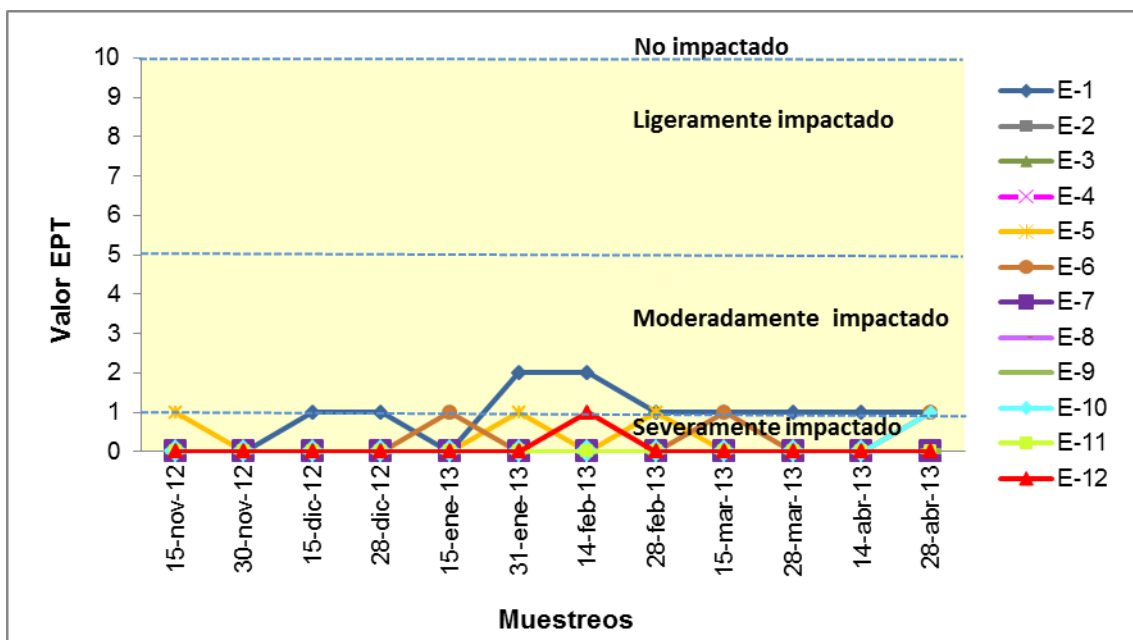


Figura 41. Tipo de impacto según el valor EPT, para doce estaciones del Río Pesquería, durante el periodo noviembre 2012 – abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fria), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.1.3.4 Tipo de impacto según el índice biótico de Hilsenhoff

Se obtuvieron los valores de tolerancia de los insectos, de acuerdo con la frecuencia de aparición de los géneros/especies en los diversos muestreos, con la finalidad de obtener valores propios de esta región y se aplicó el Índice Biótico de Hilsenhoff en cada estación de muestreo (Tabla 20).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 20. Valores de tolerancia asignados para insectos acuáticos del Río Pesquería, durante el periodo noviembre 2012 – abril 2013.

Nombre científico	ESTACIONES DE MUESTREO												
	Est.	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12
1. <i>Abedus</i> sp.	N	4											
<i>Abedus</i> sp.	A	10											1
2. <i>Ambrysus</i> sp. A	N	4											
<i>Ambrysus</i> sp. A	A	8	1										
3. <i>Ambrysus</i> sp. B	N	5											
<i>Ambrysus</i> sp. B	A	4											
4. <i>Anopheles franciscanus</i>	L						1						
5. <i>Antocha</i> sp.	N	2											
6. <i>Argia</i> sp.	N	10	3		10	10	10	1		1	4	10	4
7. <i>Atrichopogon</i> sp.	N	1					2						
8. <i>Atylotus</i> sp.	A	1											
9. <i>Berosus</i> sp.	L	10	2		5	9	9	1		1	1		
<i>Berosus</i> sp.	A	7	1		5	7	9						2
10. <i>Brachydeutera</i> sp.	L		5		1				1				
11. <i>Callibaetis</i> sp.	L	9				3	2				1		1
12. <i>Chironomus plumosus</i>	L	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
13. <i>Culex declarator</i>	L					2							
14. <i>Culex franciscanus</i>	L		1										
15. <i>Culex interrogator</i>	L		1										
16. <i>Culex quinquefasciatus</i>	L		6		4	1				1			
17. <i>Culex tarsalis</i>	L					1							
18. <i>Corisella</i> sp.	A	1											
19. <i>Enallagma</i> sp.	N		1										
20. <i>Enochrus</i> sp.	A	2					1						
21. <i>Ephydra</i> sp.	L		5	10	10	1	5	1		1	1	1	
22. <i>Eristalis</i> sp.	L		8	10						1			1
23. <i>Erpetogomphus</i> sp.	L	4	1		3	5	3	1					
24. <i>Euparyphus</i> sp.	L	5	1			1							
25. <i>Helichus lithophilus</i>	A	1											
26. <i>Hydrobius</i> sp.	L		2										
27. <i>Hydrochara</i> sp.	A										1		
28. <i>Limnocois</i> sp.	A	3											
29. <i>Liodessus</i> sp.	L	2											
30. <i>Metricha</i> sp.	L						1						
31. <i>Microvelia</i> sp.	A	2											
Muscidae A	L		1	10			1						
Muscidae B	L		1		1		1	2		1			1
32. <i>Nannothemis</i> sp.	N						1						
33. <i>Nehalennia</i> sp.	N				2	1	1			1			
34. <i>Neelmis</i> sp.	A	4											1
35. <i>Ophiogomphus</i> sp.	L	6			4		1				1	1	

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 20. (Continuación)

Nombre científico	ESTACIONES DE MUESTREO												
	Est.	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12
36. <i>Paracoenia</i> sp.	L		3		1		1			1			
37. <i>Pericoma</i> sp.	L		1					1		1			1
38. <i>Petrophila</i> sp.	L	3									1		
39. <i>Psephenus</i> sp.	L	1											
40. <i>Pseudoleon</i> sp.	N		1				1						
41. <i>Psychoda</i> sp.	L		5		3			4	3	3	2	1	
42. <i>Smicridea</i> sp.	L	2				1					1		
43. <i>Stratiomys</i> sp.	L	6	3		1	1	4	1		1	2	1	1
44. <i>Tropisternus</i> sp.	L	3	5		1	2	5				1		
45. <i>Tropisternus lateralis</i>	A	1	3				1						1
46. <i>Tropisternus obscurus</i>	A	4	3			1	4					1	

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

Estado de desarrollo: (N) Ninfa/Náyade, (L) Larva, (A) Adulto.

De forma global, los promedios obtenidos de los Índices de Hilsenhoff variaron entre 7.95, valor menor registrado en la estación E-1 (García) y el valor máximo de 10.00, encontrado en la estación E-3 (Lincoln). En las demás estaciones el valor fluctuó entre 9.19, en la estación E-8 (Laredo) y 9.99 en la estación E-11 (Pesquería).

Analizando de forma individual cada estación de muestreo, en la E-1 (García) los valores de 5.00 y 6.32 correspondieron a un sistema ligeramente impactado, tres valores la catalogaron como moderadamente impactada (7.00, 8.08 y 7.96) y los siete restantes como un sistema severamente impactado. Todas las colectas realizadas en la E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas) indicaron un sistema severamente impactado. La E-4 (Av.

Monterrey), a excepción del valor de 5.92 (ligeramente impactada), todos los muestreos resultaron de un sistema severamente impactado; la estación E-7 (PTAR Norte), a excepción del valor de 5.35 (ligeramente impactado) y 8.34 (moderadamente impactado), la mayoría indicó un sistema severamente impactado; similar en la estación E-8 (Laredo), a excepción del valor 3.84 (sin impacto) y 7.24 (moderadamente impactado), los demás muestreos reflejaron un sistema severamente impactado (Tabla 21 y Figura 42).

La tendencia general indicó que en la E-1(García) el 58% de los muestreos se refirió a un sistema severamente impactado y las estaciones restantes se mantuvieron en la categoría de sistema severamente impactado (once de las doce que abarcaron el presente estudio).

Tabla 21. Valores obtenidos en el Río Pesquería, según el Índice Biótico de Hilsenhoff.

Muestreo	Fecha	ESTACIONES DE MUESTREO											
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12
1	15-nov-12	5.00	9.96	10.00	10.00	9.90	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.90
2	30-nov-12	7.00	10.00	10.00	9.92	9.98	10.00	10.00	10.00	10.00	9.83	10.00	9.89
3	15-dic-12	8.79	9.90	10.00	9.80	9.93	9.99	10.00	10.00	9.95	9.99	10.00	10.00
4	28-dic-12	8.87	9.93	**	9.94	9.95	10.00	10.00	10.00	10.00	9.99	9.99	9.88
5	15-ene-13	8.23	9.97	**	9.91	9.99	9.94	10.00	10.00	10.00	10.00	9.97	9.99
6	31-ene-13	8.61	*	**	9.97	9.98	9.75	9.98	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
7	14-feb-13	8.63	9.46	**	9.95	9.99	9.94	9.99	10.00	10.00	10.00	10.00	9.99
8	28-feb-13	8.90	9.91	10.00	9.97	9.96	9.87	10.00	10.00	10.00	9.98	10.00	9.99
9	15-mar-13	8.96	9.79	**	10.00	9.99	9.80	8.34	10.00	9.93	10.00	10.00	9.98
10	28-mar-13	6.32	9.32	10.00	9.95	9.99	9.89	5.35	7.24	9.95	10.00	10.00	10.00
11	14-abr-13	8.08	9.86	10.00	9.44	10.00	9.24	9.35	3.84	9.91	10.00	10.00	10.00
12	28-abr-13	7.96	9.15	10.00	5.92	9.68	9.34	9.73	9.24	9.95	9.91	9.96	10.00
	Promedio	7.95	9.75	10.00	9.56	9.95	9.81	9.40	9.19	9.97	9.98	9.99	9.97

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

* En la E-2 no hubo muestreo el 31 de enero por motivos de seguridad del personal.

** Ausencia de insectos acuáticos.

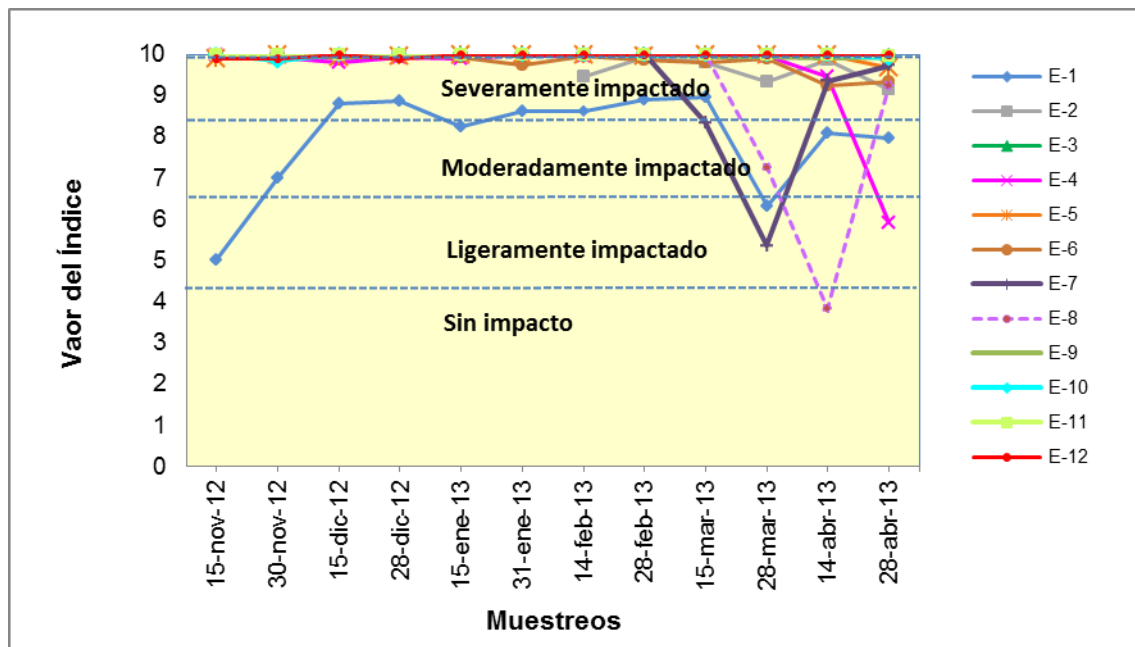


Figura 42. Tipo de impacto según el Índice Biótico de Hilsenhoff, para doce estaciones del Río Pesquería, durante el período noviembre 2012 – abril 2013.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fria), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.1.4. Determinación de los géneros y especies bioindicadores locales de contaminación.

4.1.4.1 Insectos indicadores de un sistema polisaprobio.

Los resultados obtenidos, de acuerdo con los modelos ecológicos aplicados, categorizaron el Río Pesquería como un sistema polisaprobio, que se encontró severamente impactado, a excepción de algunos muestreos en la estación E-1 (García), reportados como moderadamente impactado; es decir, se refiere a un sistema mesosaprobio. Se realizó un análisis con el modelo de estadística no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov (1941), mismo que permitió detectar una distribución homogénea o heterogénea de los insectos acuáticos

colectados, de acuerdo con las densidades de población en las doce estaciones de muestreo. Considerando que la mayoría de las estaciones fueron polisaprobias, de acuerdo con los análisis estadísticos ya mencionados, se interpretó que los insectos que presentaran distribución homogénea indicaban tolerancia a las condiciones polisaprobias o eutróficas, mientras que las especies con distribución heterogénea señalaban presencia temporal u ocasional en las estaciones de muestreo; por lo tanto, eran intolerantes a la eutroficación.

De los 39 géneros y/o especies solo 7 registraron distribución homogénea: la libélula *Erpetogomphus* sp., los escarabajos acuáticos *Tropisternus* sp., y *T. obscurus*, el mosquito enano *Chironomus plumosus*, el efídrido *Paracoenia* sp., el psicódido *Psychoda* sp. y la familia Muscidae B; por lo tanto, son indicadores de un sistema acuático polisaprobio (Tabla 22 y Figura 43).

Tabla 22. Insectos acuáticos en distribución homogénea en el Río Pesquería, según la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Insectos indicadores de mala calidad de agua en el Río Pesquería				
Orden	Familia	Género/especie	Sistema Acuático	Tipo de impacto
Odonata	Gomphidae	<i>Erpetogomphus</i> sp.	Polisaprobio	Severo
Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Tropisternus</i> sp.	Polisaprobio	Severo
		<i>Tropisternus obscurus</i>	Polisaprobio	Severo
Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	Polisaprobio	Severo
	Ephydriidae	<i>Paracoenia</i> sp.	Polisaprobio	Severo
	Muscidae B		Polisaprobio	Severo
	Psychodidae	<i>Psychoda</i> sp.	Polisaprobio	Severo

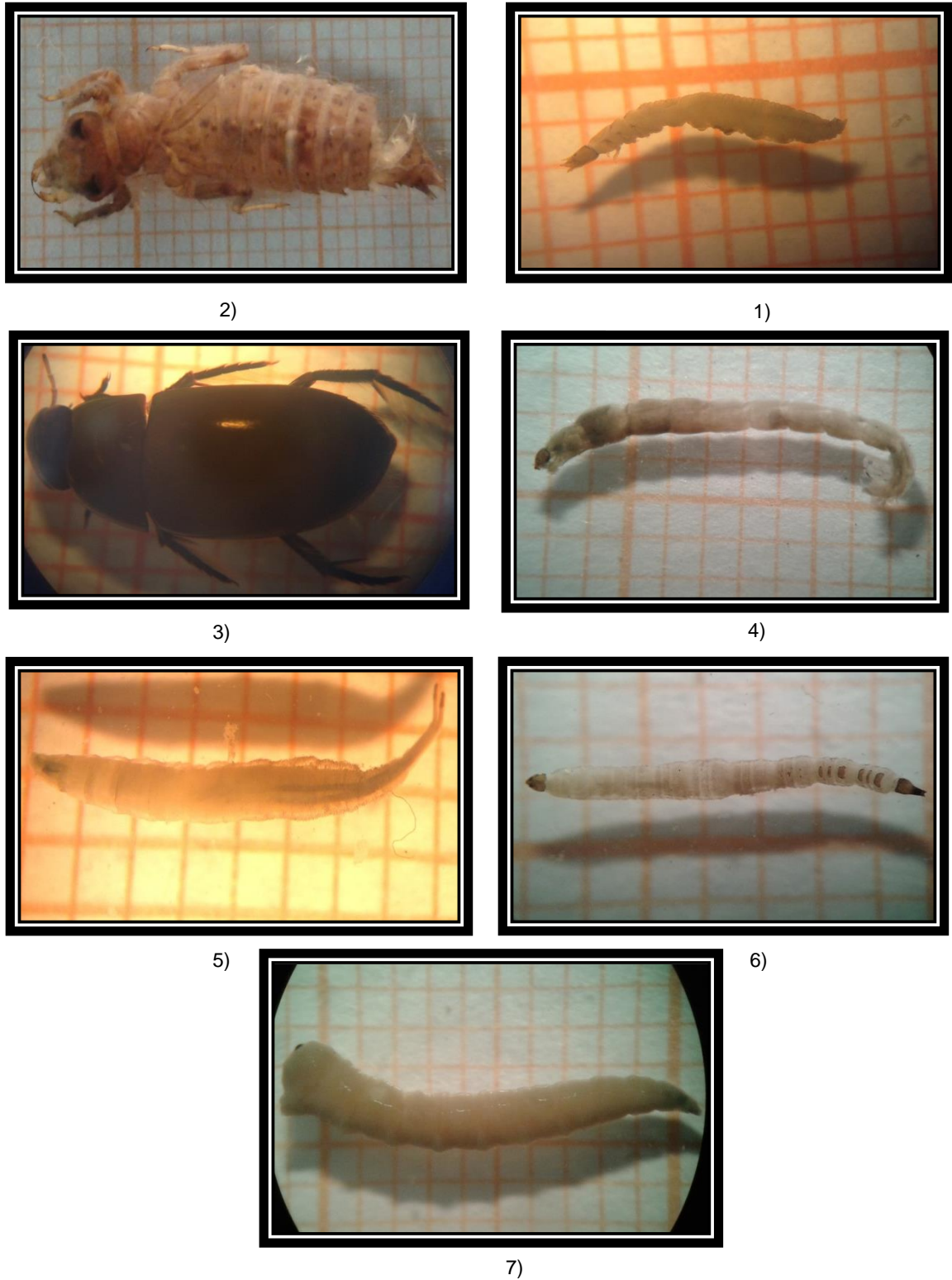


Figura 43. Insectos indicadores del Río Pesquería, sistema polisaprobio severamente impactado: 1) *Erpetogomphus* sp., 2) *Tropisternus* sp., 3) *T. obscurus*., 4) *Chironomus plumosus*, 5) *Paracoenia* sp., 6) *Psychoda* sp., y 7) Muscidae B.

4.1.4.2 Relación entre bioindicadores y los parámetros fisicoquímicos.

Los parámetros fisicoquímicos que se obtuvieron quincenalmente en cada estación de muestreo fueron: temperatura del agua, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, pH, oxígeno disuelto, salinidad, arsénico, cianuros, turbiedad y nitratos (Tabla 23). Las densidades totales de los insectos que resultaron ser bioindicadores de sistemas polisaprobios se analizaron mediante una regresión múltiple con el programa SPSS 17.00, para conocer la correlación que existió entre los insectos y cada uno de los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 23. Promedio de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en las estaciones de muestreo del Río Pesquería.

Parámetros Fisicoquímicos	Min.	Max.	Media (DS)
1. Temperatura del agua °C	13.50	32.10	22.07 (0.66)
2. Conductividad eléctrica, mS/cm	969	15140	4756.41 (549.77)
3. Sólidos disueltos totales (TDS) mg/l	471	7370	2260.40 (269.92)
4. pH, unidades de pH	7.35	8.42	7.84 (0.05)
5. Oxígeno disuelto (OD), mg/l	0.06	14.96	6.97 (0.66)
6. Salinidad, ppt	0.47	8.74	2.63 (0.33)
7. Arsénico, mg/l	0	0.07	0.025 (0.004)
8. Cianuros, mg/l	0.001	0.264	0.04(0.03)
9. Turbiedad, UTN	1	807	89.32 (79.42)
10. Nitratos	0.40	154.90	35.06 (12.48)

Erpetogomphus sp.

Al analizar y correlacionar las densidades de la libélula *Erpetogomphus* sp. con los parámetros fisicoquímicos, se obtuvo un coeficiente de correlación (r) de -0.672 y un coeficiente de determinación (r^2) de 0.452, es decir, un 45.20%

de asociación entre este organismo con la temperatura; en cambio, con el oxígeno disuelto se encontró un coeficiente de correlación (r) de 0.629 y un coeficiente de determinación (r^2) de 0.396 con un 39.60% de asociación entre *Erpetogomphus* sp. y el oxígeno disuelto. A medida que disminuyó la temperatura del agua aumentó el oxígeno disuelto y la densidad de este organismo en el río; por lo tanto, si aumenta la temperatura disminuye la densidad de *Erpetogomphus* sp. En el análisis efectuado quedaron excluidos (no existió asociación) los parámetros de: conductividad, TDS, pH, salinidad, arsénico, cianuros, turbiedad y nitratos. Esto indicó que las densidades de población de estos insectos fueron independientes de ellos (Tabla 24).

Tropisternus sp.

La densidad de población de este escarabajo en estadio larval fue impactada por el pH, pues se detectó un coeficiente de correlación (r) de 0.680 y un coeficiente de determinación (r^2) de 0.462, es decir, un 46.20% de asociación. Fue proporcional el aumento del pH en el agua con la densidad *Tropisternus* sp. Por otra parte, los parámetros de temperatura, conductividad, TDS, OD, salinidad, arsénico, cianuros, turbiedad y nitratos quedaron excluidos del análisis (Tabla 24).

Tropisternus obscurus.

En este escarabajo los datos del análisis mostraron un coeficiente de correlación (r) de -0.633 y un coeficiente de determinación (r^2) de 0.401 con un

40.10% de asociación entre *T. obscurus* y la temperatura. A medida que disminuyó la temperatura del agua, aumentó la densidad del escarabajo. Se obtuvo un coeficiente de correlación (r) de 0.630 y un coeficiente de determinación (r^2) de 0.397 con un 39.70% de asociación entre este escarabajo y el pH; el aumento del pH fue proporcional con la densidad de población de este insecto. No se encontró asociación alguna con la conductividad, los TDS, el OD, la salinidad, el arsénico, los cianuros, la turbiedad y los nitratos (Tabla 24).

Paracoenia sp.

La densidad de población de este efídrido está asociada con la presencia de cianuros. Se obtuvo un coeficiente de correlación (r) de 0.599 y un coeficiente de determinación (r^2) de 0.359 con un 35.90% de asociación; los parámetros que quedaron excluidos del análisis fueron: la temperatura, la conductividad, los TDS, el pH, el OD, la salinidad, el arsénico, la turbiedad y los nitratos (Tabla 24).

Psychoda sp.

Los resultados del análisis indicaron una asociación entre este psicórido con la temperatura y el pH. Se encontró un coeficiente de correlación (r) de 0.637 y un coeficiente de determinación (r^2) de 0.406 con un 40.60% de asociación entre este insecto y la temperatura. En cambio, con el pH se obtuvo el coeficiente de correlación (r) de -0.602 y un coeficiente de determinación (r^2)

de 0.362, es decir, un 36.20% entre el psicódido y el pH. Conforme bajó el pH del agua, aumentó la densidad de *Psychoda* sp. No se encontró asociación alguna con la conductividad, los TDS, el OD, la salinidad, el arsénico, los cianuros, la turbiedad y los nitratos; por lo tanto, las densidades de población de *Psychoda* sp. son independientes de dichos parámetros (Tabla 24).

Chironomus plumosus y Muscidae B

Al analizar y correlacionar las densidades de población del gusano de sangre y del ejemplar de la familia Muscidae B con los parámetros fisicoquímicos no se encontró asociación alguna, excluyéndose todas las variables del análisis, indicando que las densidades de ambos fueron independientes de la temperatura, la conductividad, los TDS, el pH, el OD, la salinidad, el arsénico, los cianuros, la turbiedad y los nitratos (Tabla 24).

4.1.5. Determinación de géneros y especies que constituyen un factor de riesgo en la salud humana, asociados al Río Pesquería.

El orden Diptera resultó ser el predominante: se colectaron 180,493 insectos, la familia Chironomidae fue rotundamente la más abundante, seguida por Culicidae (que incluye a los zancudos); también se identificaron las siguientes familias: Ceratopogonidae, Ephydriidae, Muscidae, Psychodidae, Stratiomyidae, Syrphidae, Tabanidae y Tipulidae. En general, los dípteros se caracterizan por ser colonizadores de ambientes acuáticos, algunos organismos pueden vivir en ambientes contaminados y se crean las

condiciones óptimas para el desarrollo de varias especies de moscas y mosquitos que participan como vectores de enfermedades.

La familia Chironomidae estuvo integrada por *Chironomus plumosus* (97.065%) siendo más abundante (a excepción de la E-1 y E-3) en el estudio y presentándose en todas las estaciones de muestreo (Tabla 2 y Tabla 25).

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 24. Correlación múltiple entre los bioindicadores y diez parámetros fisicoquímicos durante el periodo noviembre 2012 – abril 2013.

Bioindicador	Coefficiente de correlación (r)	Coefficiente de Determinación (r ²)	Variables asociadas	Variables excluidas
<i>Erpetogomphus</i> sp.	Temperatura -0.672	0.452 (45.20%)	Temperatura y OD	Conductividad, TDS, pH, salinidad, arsénico, cianuros, turbiedad y nitratos
	OD 0.629	0.396 (39.60%)		
<i>Tropisternus</i> sp.	pH 0.680	0.462 (46.20%)	pH	Temperatura, conductividad, TDS, OD, salinidad, arsénico, cianuros, turbiedad y nitratos.
<i>Tropisternus obscurus</i>	Temperatura -0.633	0.401 (40.10%)	Temperatura y pH	Conductividad, TDS, OD, salinidad, arsénico, cianuros, turbiedad y nitratos.
	pH 0.630	0.397 (39.70%)		
<i>Chironomus plumosus</i>			Ninguna	Temperatura, conductividad, TDS, pH, OD, salinidad, arsénico, cianuros, turbiedad y nitratos.
<i>Paracoenia</i> sp.	Cianuros 0.599	0.359 (35.90%)	Cianuros	Temperatura, conductividad, TDS, pH, OD, salinidad, arsénico, turbiedad y nitratos.
<i>Psychoda</i> sp.	Temperatura 0.637	0.406 (40.60%)	Temperatura y pH	Conductividad, TDS, OD, salinidad, arsénico, cianuros, turbiedad y nitratos.
	pH -0.602	0.362 (36.20%)		
Muscidae B			Ninguna	Temperatura, conductividad, TDS, pH, OD, salinidad, arsénico, cianuros, turbiedad y nitratos.

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 25. Densidad y porcentajes de insectos del orden Diptera colectados en el Río Pesquería durante el periodo noviembre 2012 – abril 2013, considerados como factor de riesgo entomológico.

	Familia	Género y/o especies	Total de individuos	Porcentaje
1	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	175,196	97.065
2	Culicidae	<i>Culex quinquefasciatus</i>	3,530	1.956
3	Psychodidae	<i>Psychoda</i> sp.	841	0.466
4	Ephyridae	<i>Ephydra</i> sp.	627	0.347
5	Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.	92	0.051
6	Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp.	56	0.031
7	Ephyridae	<i>Brachydeutera</i> sp.	31	0.017
8	Culicidae	<i>Culex interrogator</i>	26	0.014
9	Stratiomyidae	<i>Euparyphus</i> sp.	20	0.011
10	Psychodidae	<i>Pericoma</i> sp.	19	0.011
11	Muscidae	B	13	0.007
12	Ephyridae	<i>Paracoenia</i> sp.	12	0.007
13	Culicidae	<i>Culex franciscanus</i>	9	0.005
14	Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon</i> sp.	6	0.003
15	Muscidae	A	5	0.003
16	Tabanidae	<i>Atylotus</i> sp.	3	0.002
17	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	3	0.002
18	Culicidae	<i>Anopheles franciscanus</i>	2	0.001
19		<i>Culex declarator</i>	1	0.001
20		<i>Culex tarsalis</i>	1	0.001
			180,493	100%

Contemplando todas las estaciones de muestreo, en la E-12 (Adjuntas) se presentó la mayor cantidad de quironómidos, aunque no se observaron descargas directas al río en el punto de muestreo, ni que se enriqueciera con materia orgánica generada por los desechos de ganado vacuno, porcino o aves de corral, como en otras estaciones. Se observó que, por lo general, el flujo del agua era rápido y se crearon remansos en las orillas, con mucho cieno, que a su vez sirvieron de criadero de mosquitos.

La E-10 (Agua Fría) ocupó el segundo lugar: también dominaron los quironómidos; la contaminación orgánica se atribuyó a las descargas de

drenaje directas que se observaron desde las casas situadas en las orillas del río y a la calidad del agua que se recibe del Arroyo Topo Chico, 3 km aguas arriba.

La E-2 (Fosas) ocupó el tercer lugar y la principal fuente de contaminación que se apreció fue la descarga de las lagunas de oxidación, con un fuerte olor a drenaje y abundante espuma, al parecer debida a la presencia de detergentes.

También sobresalió *Ch. plumosus* en la estación E-5 (Parque Industrial) donde se observó una descarga clandestina, además de desechos orgánicos generados por vecinos que habitan aguas arriba del punto de muestreo.

En quinto lugar la E-7 (PTAR Norte), donde la descarga de agua de la planta de tratamiento favoreció la existencia de *Ch. plumosus*; en la E-4 (Av. Monterrey) la contaminación generada por los asentamientos irregulares que vierten al río directamente descargas de drenaje sanitario, una gran cantidad de basura y desechos de todo tipo. En las demás estaciones la abundancia de esta especie fue disminuyendo (Tabla 2).

La familia Culicidae es considerada como un factor de riesgo por la transmisión de enfermedades; por lo tanto, es importante desde el punto de vista de salud pública. Estos mosquitos que se alimentan de sangre, al momento de la picadura son capaces de transmitir patógenos que causan enfermedades como la malaria y la encefalitis en el humano. La encefalitis

equina del Oeste está relacionada con el mosquito *Culex tarsalis* como transmisor y las aves como reservorios; la encefalitis de San Luis se transmite por *Cx. quinquefasciatus* y *Cx. tarsalis*, enfermedad de la cual también las aves son reservorios, estos dos últimos géneros se relacionan también con el Virus del Oeste del Nilo (Quiroz *et al.*, 2006).

Solo en cinco estaciones de muestreo se colectaron culícidos, la E-4 (Av. Monterrey) tuvo mayor abundancia con 2,359 larvas de *Cx. quinquefasciatus*, en segundo lugar la E-2 (Fosas) con 1,155 larvas de *Cx. quinquefasciatus*, 26 larvas de *Cx. interrogator* y 9 larvas de *Cx. franciscanus*; en cambio la E-5 solo registró 15 larvas de *Cx. quinquefasciatus*, 1 larva de *Cx. declarator* y 1 larva de *Cx. tarsalis*; solo 2 ejemplares de *Anopheles franciscanus* se colectaron en la E-6 (Colombia) y una larva de *Cx. quinquefasciatus* en la E-9 (Sta. Rosa), donde los vecinos de los alrededores cuentan con ganado vacuno, caprino y aves de corral, que contribuyen al enriquecimiento de materia orgánica y la vuelven apta al agua para la reproducción de mosquitos (Tabla 2). Considerando todas las localidades, se registró a *Cx. quinquefasciatus* como el culícido más abundante (Tabla 25).

De la familia Psychodidae, el género *Psychoda* está relacionado con una enfermedad conocida como pseudomiasis (Quiroz *et al.*, 2006); se colectaron 841 larvas en total (Tabla 25), aunque la mayor abundancia se presentó en las

estaciones E-8 (Laredo) y E-7 (PTAR Norte) con 396 y 394 larvas respectivamente (Tabla 26).

Tabla 26. Listado de dípteros colectados en el Río Pesquería y su relación con diferentes enfermedades en otros países del mundo donde han sido relacionadas.

Género/especie	Enfermedades implicadas	País	Referencia
<i>Chironomus plumosus</i>	Alergias	Japón	Adachi et al. (1990)
	Alergias inhalantes	Australia	Bellas (1990)
	Alergias respiratorias	Alemania	Baur (1992)
	Asma bronquial	Japón	Sakai et al. (1993)
	Asma bronquial	Suiza	Dietschi (1987)
	Dermatitis facial	Japón	Brash et al. (1992)
	Rinitis alérgica	Japón	Teranishi et al. (1995)
	Rinitis y Asma	Suecia	Eriksson (1989)
<i>Culex quinquefasciatus</i>	Asma bronquial	India	Gupta et al. (2000)
	Encefalitis de San Luis		(Quiroz, Castro y González, 2006)
	Encefalitis	USA	Hirsch & Werner (2003)
<i>Cx. tarsalis</i>	Encefalitis equina del Oeste		(Quiroz-Martínez y Rodríguez-Castro, 2006)
	Encefalitis de San Luis		(Quiroz-Martínez y Rodríguez-Castro, 2006)
<i>Psychoda</i> sp.	Alergias inhalantes	Australia	Bellas (1990)
	Asma bronquial	Sudáfrica	Ordam (1946)
	Alergia ocupacional	USA	Gold et al. (1985)
	Alergias inhalantes	USA	Henson (1966)
	Pseudomiasis		(Quiroz-Martínez y Rodríguez-Castro, 2006)

4.2 Caracterización fisicoquímica.

4.2.1 Temperatura del agua

Se obtuvo en todas las localidades, durante los doce muestreos: los valores más altos se registraron en el muestreo del 14 de abril y los más bajos el 15 de enero. En todo el estudio los valores obtenidos fluctuaron entre los 13.5°C (E-10 Agua Fría y E-11 Pesquería) y 32.1°C (E-9 Sta. Rosa). Las estaciones E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo) y E-9 (Sta. Rosa) presentaron los valores más altos de forma constante y la E-1 (García) los valores más bajos. La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece una temperatura máxima de 40°C para la protección de la vida acuática y todas las lecturas obtenidas se encontraron inferiores a este valor (Figura 44).

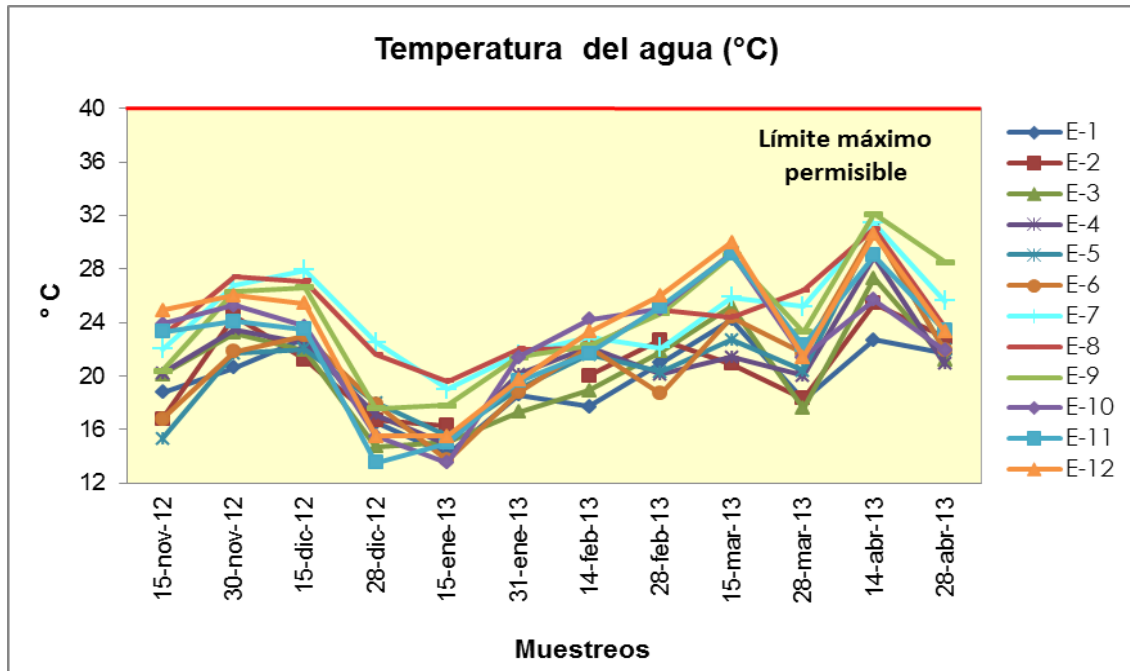


Figura 44. Valores de temperatura del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.2.2 pH (Potencial de Hidrógeno)

Los valores de pH obtenidos en los doce muestreos se encontraron en el intervalo de 7.35 (E-7 PTAR Norte) y 8.43 (E-6 Colombia). En forma general, los valores más altos se presentaron en las estaciones E-2 (Fosas), E-6 (Colombia) y E-11 (Pesquería) y los más bajos en la E-7 (PTAR Norte). La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que el nivel permisible de pH es de 5 a 10 unidades y las lecturas registradas no superaron el máximo permisible. La importancia de medir el pH radica en que éste puede limitar la vida acuática y muchos usos del agua (Figura 45).

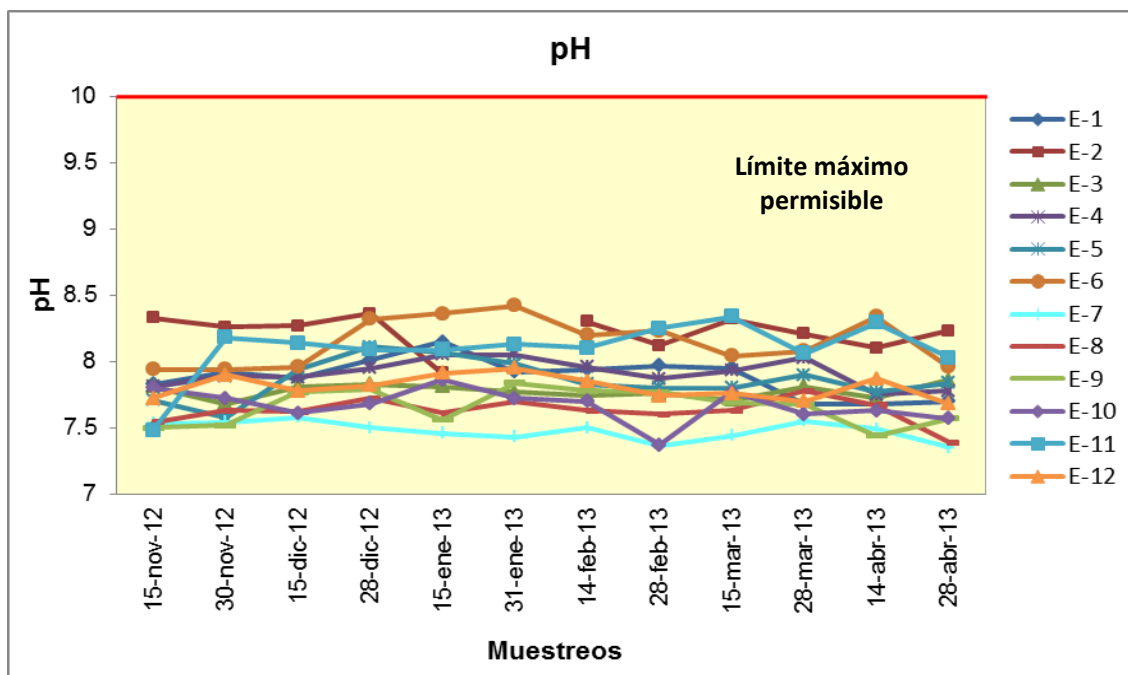


Figura 45. Valores del pH del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fria), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.2.3 Oxígeno disuelto

Los valores registrados de oxígeno disuelto fluctuaron entre 0.06 mg/l (E-3 Lincoln) y 14.96 (E-5 Parque Industrial). Las lecturas mayores se presentaron en las estaciones E-1 (García), E-5 (Parque Industrial) y E-6 (Colombia); las lecturas más bajas se encontraron en las estaciones E-2 (Fosas) y E-3 (Lincoln) con una disminución considerable. La importancia del oxígeno en el agua es vital para la vida acuática, dado que la falta de oxígeno disuelto es un indicador de contaminación. El agua contaminada alcanza un valor bajo en este parámetro (Figura 46).

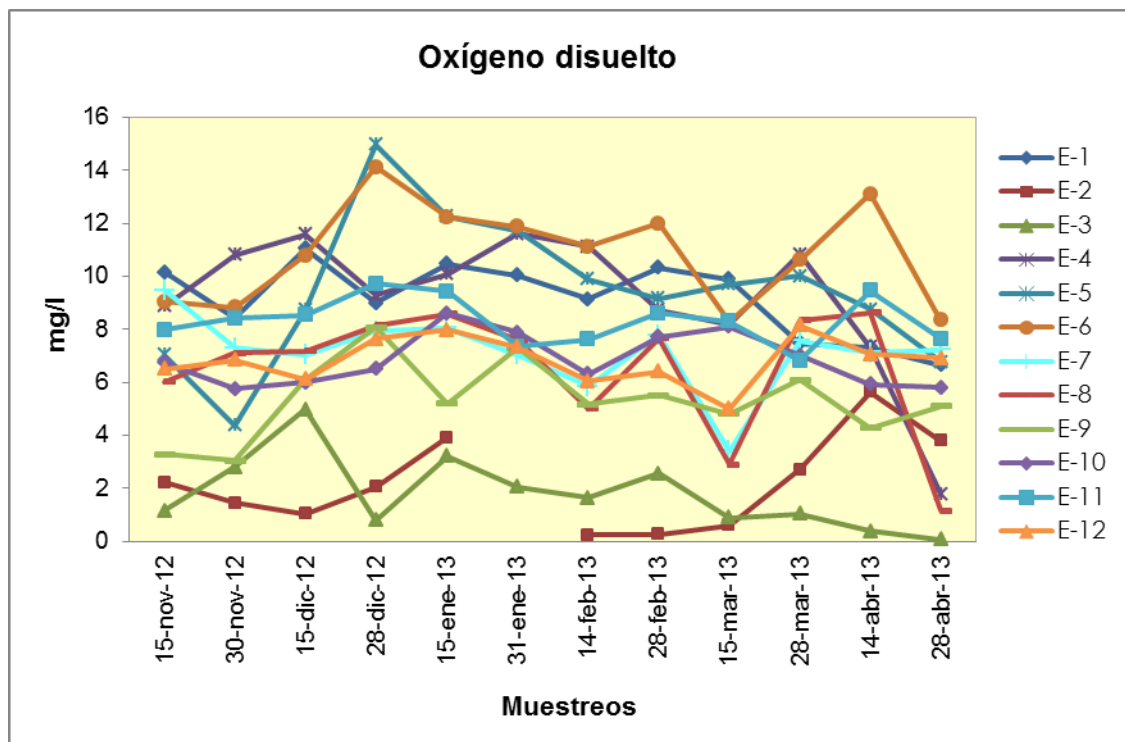


Figura 46. Valores de oxígeno disuelto del agua, en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fria), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.2.4 Conductividad

También se midió la conductividad en cada uno de los muestreos y los datos obtenidos oscilaron en el rango de 969 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (E-12 Adjuntas) y 15,140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (E-4 Av. Monterrey). En forma global, los valores más altos se obtuvieron en las estaciones E-3 (Lincoln) y E-4 (Av. Monterrey); en cambio, los valores más bajos correspondieron a las estaciones E-2 (Fosas) y E-7 (PTAR Norte). Es importante medir la conductividad porque ésta influye en la biota acuática y además, puede ser un indicador de fugas de aguas residuales (Figura 47).

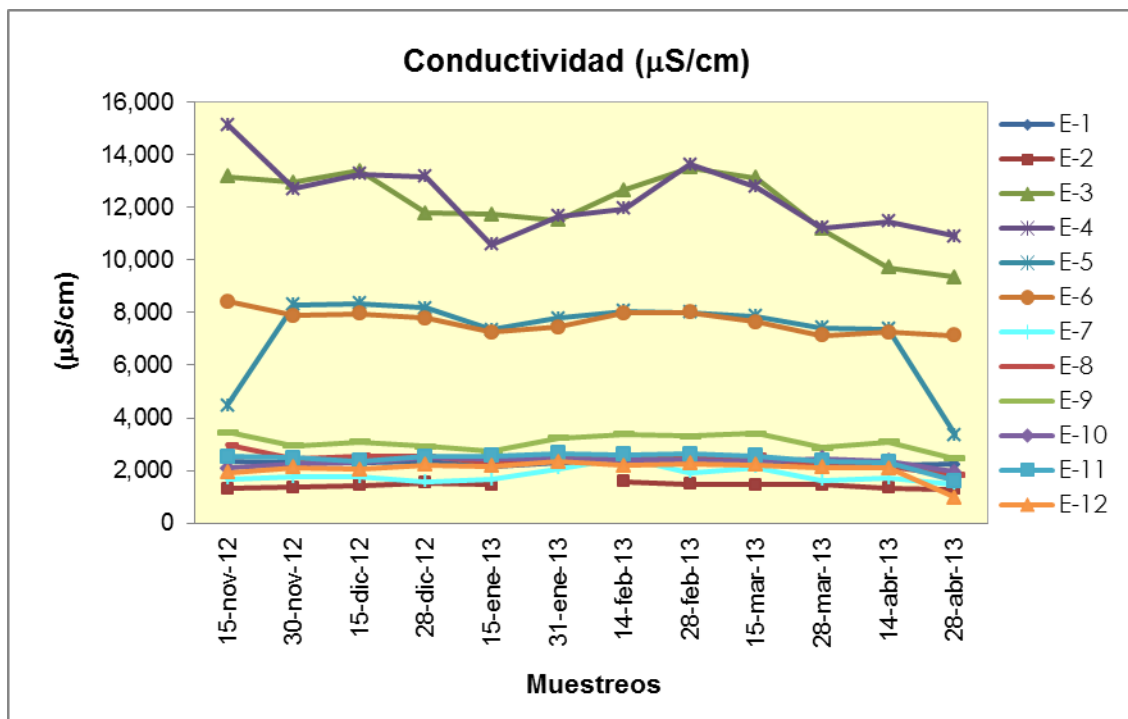


Figura 47. Valores de conductividad del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fria), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.2.5 Sólidos disueltos totales (TDS)

Éstos se analizaron en todos los muestreos y las lecturas se mantuvieron entre 471 mg/l (E-12 Adjuntas) y 7,370 mg/l (E-4). Las estaciones E-3 (Lincoln) y E-4 (Av. Monterrey.) presentaron de manera constante los resultados más altos y la estación E-12 los más bajos. La medida de TDS se aplica para constatar la calidad del agua de los ríos; aunque el TDS no tiene la consideración de un contaminante grave, es indicador de las características del agua y de la presencia de contaminantes químicos, es decir, de la composición química y de la concentración en sales del agua (Figura 48).

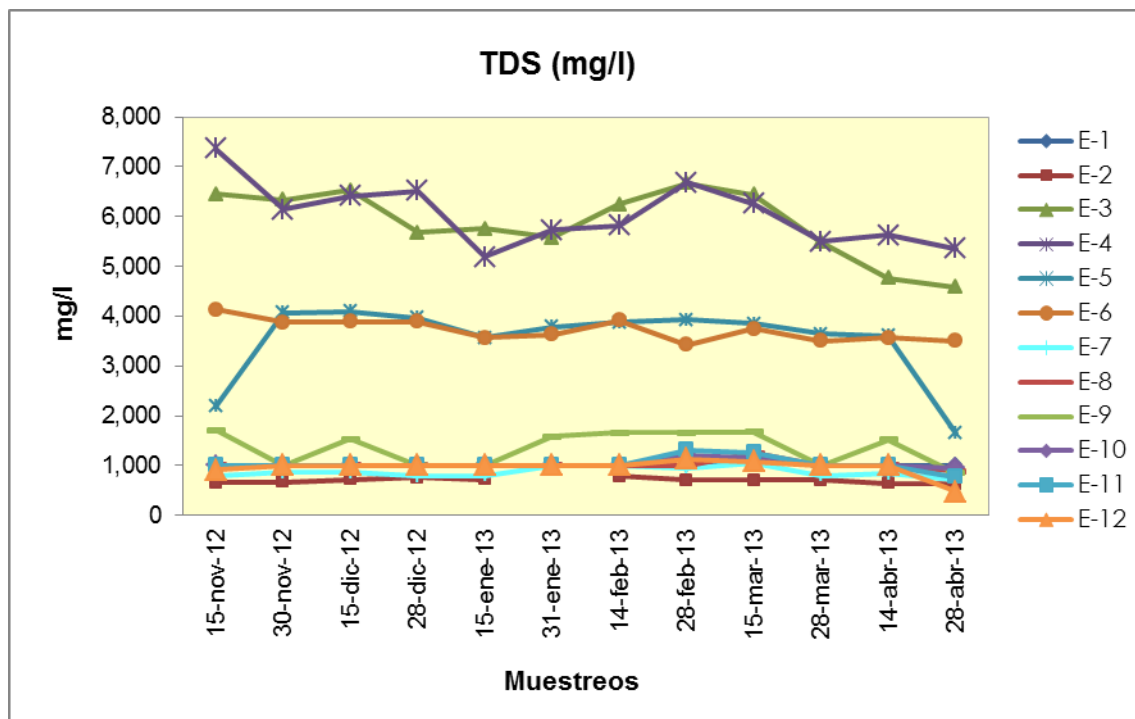


Figura 48. Valores de sólidos disueltos totales del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.2.6 Salinidad

La distribución de las lecturas de salinidad en el presente estudio mostró similitud con las registradas en la conductividad y los TDS. Los valores de salinidad se encontraron en el rango de 0.471 PPT (E-12 Adjuntas) y 8.741 PPT (E-4 Av. Monterrey.) Las estaciones E-3 (Lincoln) y E-4 (Av. Monterrey) mantuvieron los valores más altos en salinidad y los más bajos resultaron en las estaciones E-2 (Fosas) y E-7 (PTAR Norte). La salinidad influye en la distribución de los organismos y también afecta la calidad del agua potable o de riego (Figura 49).

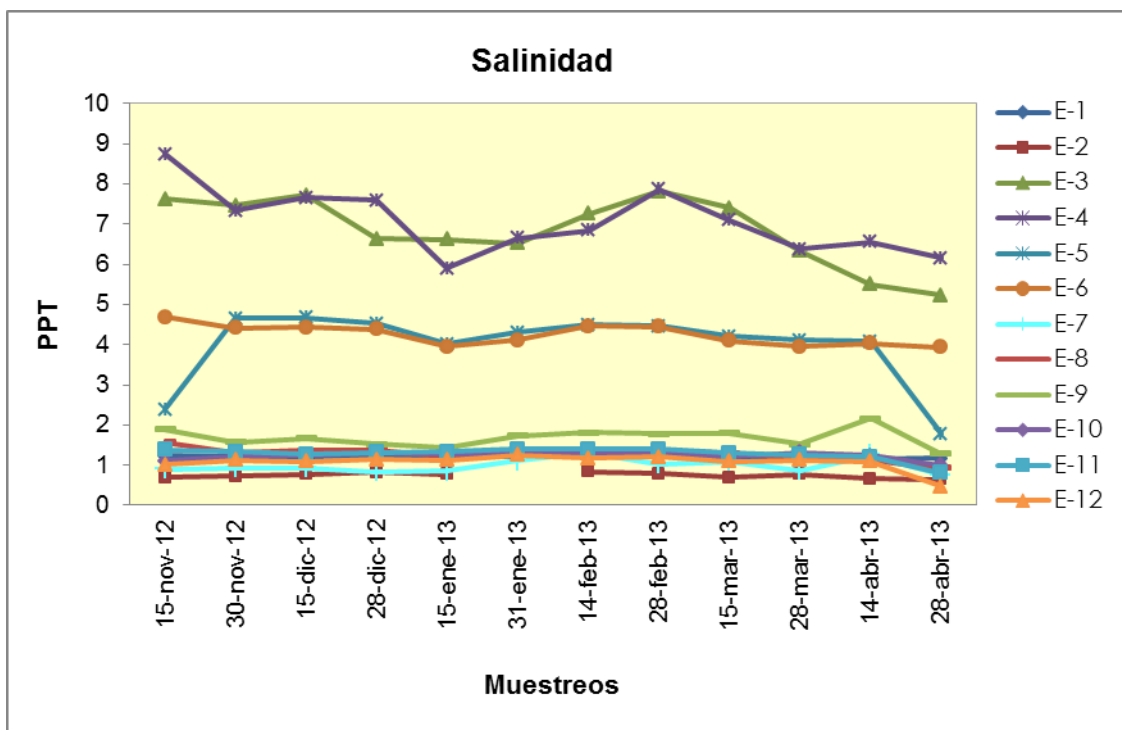


Figura 49. Valores de salinidad del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería. Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

Para enriquecer el presente estudio se analizaron también los siguientes parámetros: turbiedad, nitratos, arsénico y cianuros.

6.2.7 Turbiedad.

Los valores registrados en la turbiedad fluctuaron entre 1UTN (E-1 García) y 807 UTN (E-7 PTAR Norte). En general los valores más altos se presentaron en las estaciones E-2 (Fosas) y E-7 (PTAR Norte) y los más bajos en las estaciones E-1 (García) y E-11 (Pesquería). La turbiedad se considera una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad (Figura 50).

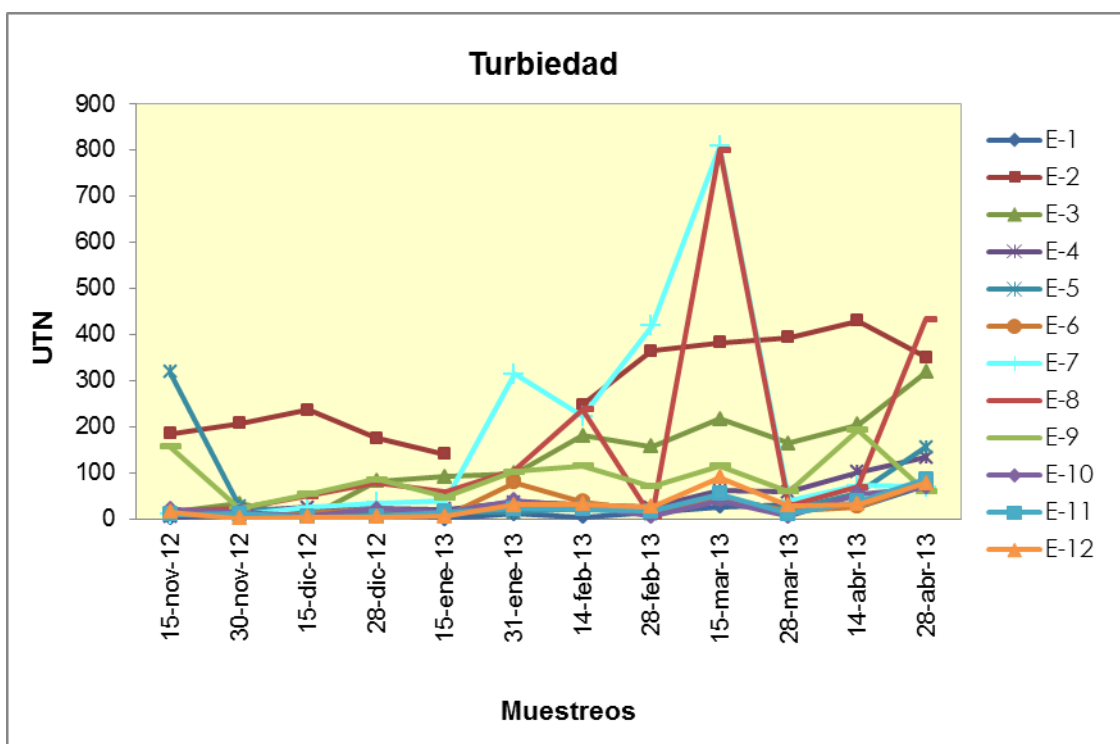


Figura 50. Valores de turbiedad del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fria), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.2.8 Nitratos

Los valores obtenidos de nitratos oscilaron entre 0.4 mg/l (E-3 Lincoln y E-10 Agua Fría) y 154.9 mg/l (E-2 Fosas, E-3 Lincoln y E-7 PTAR Norte). En general las estaciones E-2 (Fosas) y E-7 (PTAR Norte) mantuvieron los valores más altos y la E-1 los valores más bajos. El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados y la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y de animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua (Figura 51).

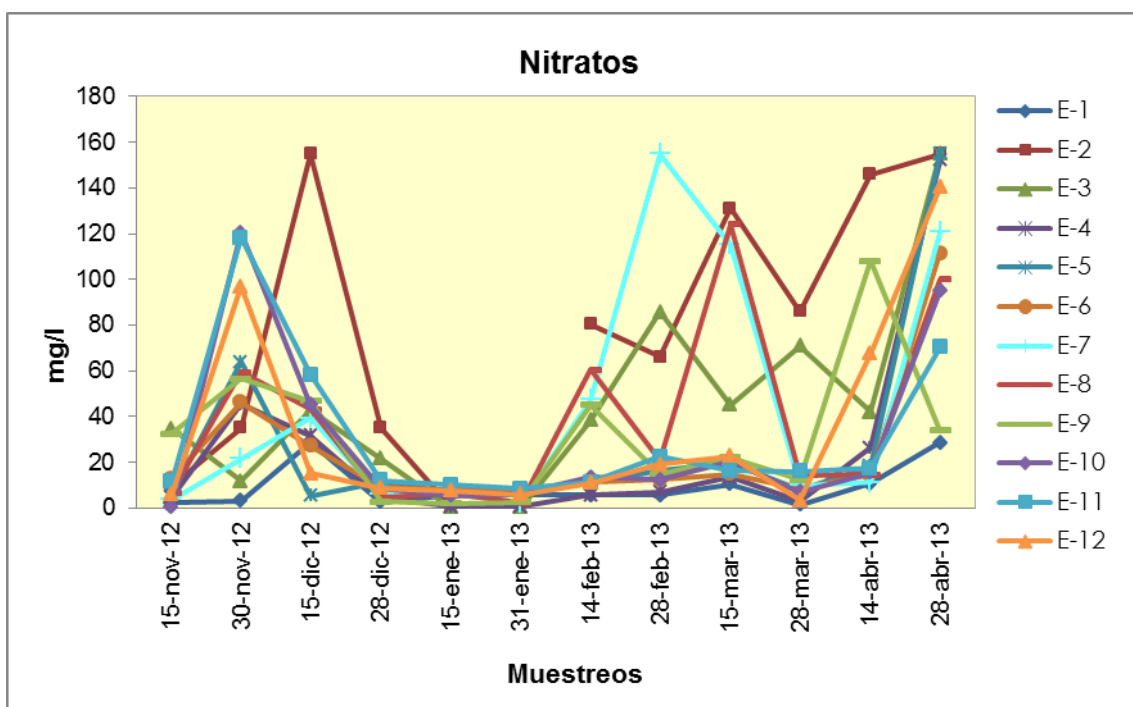


Figura 51. Valores de nitratos del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.2.9 Arsénico

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece para la presencia de arsénico un límite máximo permisible 0.2 mg/l, para protección de la vida acuática. Todas las lecturas obtenidas se encontraron dentro del rango permisible, ya que oscilaron entre 0 y 0.07 mg/l (Figura 52).

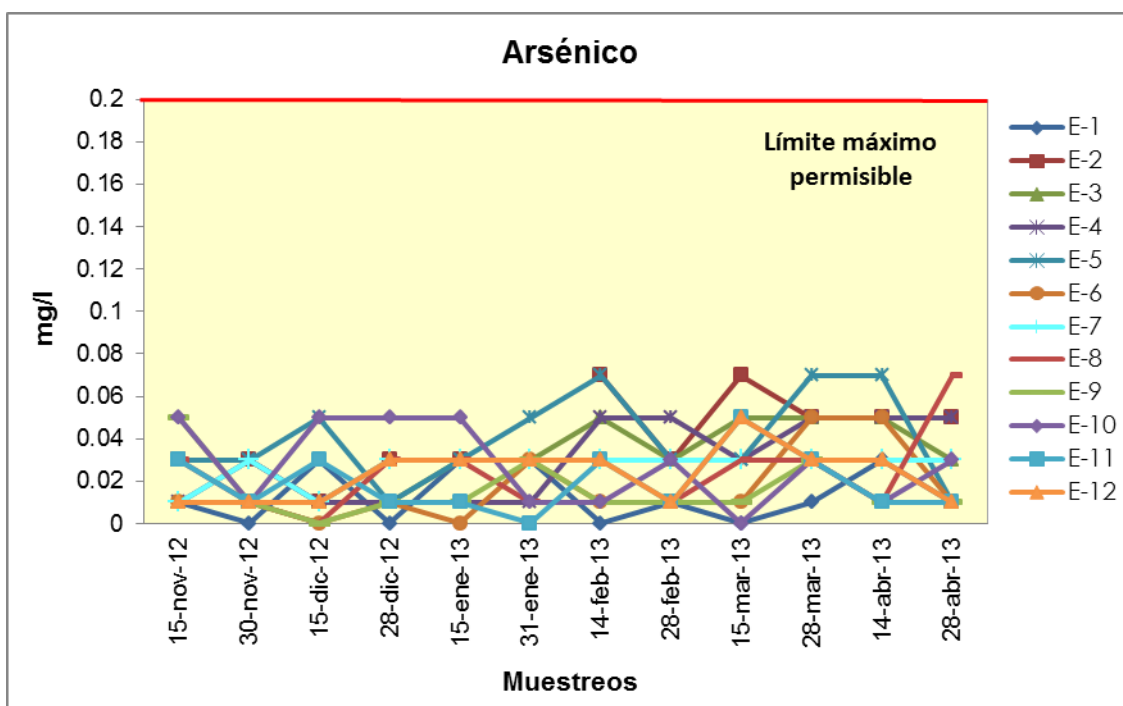


Figura 52. Valores de arsénico del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería.

Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

4.2.10 Cianuros

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece para la presencia de cianuros un límite máximo permisible de 2.0 mg/l, para protección de vida acuática. Las lecturas registradas en las estaciones de muestreo variaron entre 0 y 0.264 mg/l; por lo tanto, cumplieron con esa norma (Figura 53).

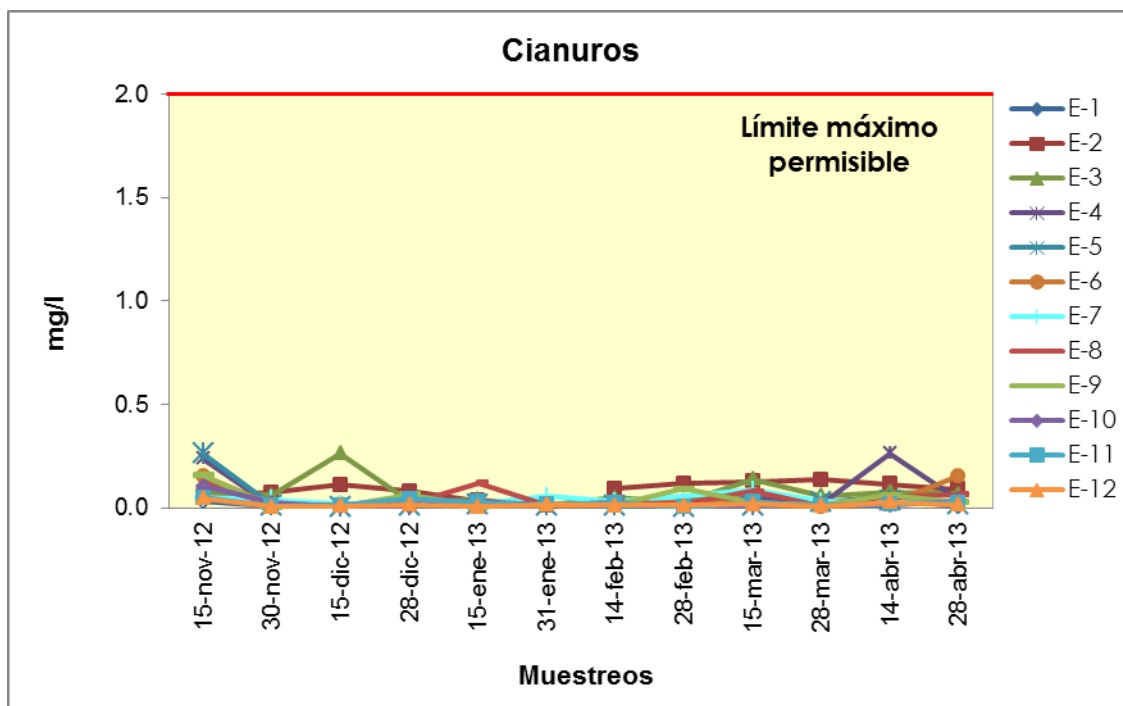


Figura 53. Valores de cianuros del agua en las doce estaciones de muestreo del Río Pesquería. Estación de muestreo: E-1 (García), E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-4 (Av. Monterrey), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia), E-7 (PTAR Norte), E-8 (Laredo), E-9 (Sta. Rosa), E-10 (Agua Fría), E-11 (Pesquería) y E-12 (Adjuntas).

En el último muestreo (28 de abril del 2013) se tomaron muestras de agua en cada estación y la Facultad de Ciencias Químicas realizó la caracterización fisicoquímica, de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996. Los valores de arsénico y cianuros en todas las estaciones se encontraron dentro de lo permisible, como se observó en los muestreos quincenales. Los Sólidos

Suspendidos Totales de las estaciones E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln), E-5 (Parque Industrial), E-6 (Colombia) y E-8 (Laredo) superaron el valor establecido para la protección de la vida acuática; en cambio, para la Demanda Bioquímica de Oxígeno solo las estaciones E-2 (Fosas) y E-3 (Lincoln) superaron el valor permisible. Los valores de Nitrógeno estuvieron fuera de lo permisible en las estaciones E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln) y E-4 (Av. Monterrey). Por último, lo reportado para la E-8 (Laredo) en grasas y aceites también superó los límites máximos permisibles para la protección de la vida acuática (Tabla 27).

De la Lanza Espino (2000) reportó que la presencia de *Chironomus* sp. está relacionada con la tolerancia a metales pesados. En el presente estudio se encontró éste en todas las localidades y en el último muestreo se detectaron también metales pesados en las doce localidades, aunque en concentraciones que se encuentran dentro de lo permisible.

MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Tabla 27. Resultados de la caracterización fisicoquímica realizada por la Facultad de Ciencias Químicas de la UANL, para doce estaciones de muestreo en el Río Pesquería, el 28 de abril del 2013.

Parámetro	Protección de vida acuática	Estaciones de muestreo											
	LMP _D	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12
Grasas y Aceites (mg/L)	25	13.2	15.5	26	<10	13.5	<10.0	<10.0	26.09	<10	<10	<10	<10
Sólidos Sedimentables (mL/L)	2	<0.2	1.5	0.5	0.2	2	<0.2	<0.2	<0.2	2	1.5	<0.2	1.5
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	60	38	302	96	56	94	82	13	92	56	66	58	52
D.B.O. (mg de DBO5/L)	60	<2.0	112.6	97.1	25.8	31.9	4.7	-----	17.5	16.2	18.1	19	25.5
Nitrógeno total (mg Ntk/L)	25	<2.0	56.7	43.5	40.2	4.4	<2.0	10.5	3.3	13.4	9.6	7.9	5.2
Fósforo total (mg P/L)	10	<0.05	0.74	<0.05	0.051	0.12	<0.05	0.12	0.052	<0.05	0.22	0.09	0.06
As (mg/L)	0.2	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003
Pb (mg/L)	0.4	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cd (mg/L)	0.2	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Cr (mg/L)	1.0	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Cu (mg/L)	2.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
CN' (mg/L)	2.0	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Hg (mg/L)	0.1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Ni (mg/L)	4.0	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Zn (mg/L)	20	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.42	<0.10	0.1	0.4	0.15	0.11	0.1	0.13
Huevos de Helminto		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

LMP_D: Límite máximo permisible en promedio diario según la NOM-001-SEMARNAT-1996.

CAPÍTULO 5

DISCUSIONES

El presente estudio coincide con la idea de que las comunidades bentónicas son excelentes indicadores de la salud de un cuerpo de agua (Bode *et al.*, 1991). En esta investigación se decidió complementar el uso de insectos como indicadores de la calidad del agua mediante análisis fisicoquímicos, con la finalidad de obtener una evaluación integral y como un “plus” para futuras investigaciones.

De acuerdo con lo reportado en la bibliografía, se puede evaluar de forma rápida la calidad del agua en los ríos utilizando organismos vivos, además de detectar problemas en los cuerpos de agua, identificar áreas específicas de impacto e identificar las descargas problema. En este estudio, un foco rojo fue la estación E-3 (Lincoln) que, aparte de presentar los niveles más bajos de oxígeno disuelto en agua; de forma contraria, los niveles obtenidos de conductividad y sólidos disueltos totales se encontraron entre los más altos, en forma constante, en todo el estudio, lo que influyó para que solamente se colectaran 21 larvas de insectos, en total. La AWWA (1985) menciona que la contaminación química tóxica puede no solo reducir, sino incluso eliminar la comunidad macroinvertebrada completa en la zona afectada, lo que podría

justificar lo expuesto anteriormente.

A lo anterior se asocia que la contaminación orgánica grave suele restringir la variedad de macroinvertebrados, quedando solo las más resistentes y da lugar al correspondiente aumento de densidad de población los que toleran las condiciones contaminadas. A excepción de la E-3 (Lincoln), esto se reflejó en las estaciones E-2 (Fosas) a la E-12 (Adjuntas), donde prácticamente *Chironomus plumosus* fue la especie dominante. Con excepción de la E-3 (Lincoln), *Ch. plumosus* puede presentarse en abundancia en lagunas cloacales o en arroyos contaminados orgánicamente (Hilsenhoff, 1991) y la presencia de un elevado número de estos ejemplares indicaría la presencia de agua contaminada, según Kiely (1999).

Siguiendo con las especies que toleran el agua contaminada, se comprobó que la “mosca cola de ratón” *Eristalis* sp. soporta condiciones de anoxia total, ya que se le encontró en las estaciones E-2 (Fosas) y E-3 (Lincoln), predominando en la segunda y en ambas las concentraciones de oxígeno disuelto fueron bajas (Hilsenhoff, 1991; González y García, 1998). Además, la presencia de la “mosca nocturna” *Psychoda* sp. se registró en grandes cantidades en las estaciones E-7 (PTAR Norte) y E-8 (Laredo); por lo tanto, coincide con lo reportado en la bibliografía que la asocia con las plantas de tratamiento de aguas residuales. En este apartado no se puede dejar de mencionar al género *Culex* que, aunque se identificaron cinco especies, la dominante fue *Cx. quinquefasciatus* y solo dos estaciones tuvieron densidades

de población altas: la E-2 (Fosas) y E-4 (Av. Monterrey); ambas estaciones se distinguen por recibir descargas de agua orgánicamente ricas: la primera de las lagunas de oxidación y la segunda por los drenajes sanitarios y de agua residual de las personas que viven al margen del río de forma irregular, además de las grandes cantidades de basura que arrojan al río.

Entre los géneros/especies que resultaron bioindicadores de contaminación en el presente estudio a nivel local, se reportaron como tolerantes a la contaminación orgánica por De la Lanza Espino (2000) a: *Erpetogomphus* sp., *Ch. plumosus* y *Psychoda* sp., en contraste, a *Tropisternus* sp. lo considera facultativo, es decir que tolera la contaminación moderada.

Entre los organismos que no toleran la contaminación, varios autores mencionan a las “moscas de mayo” *Callibaetis*, ya que por lo general se localizan en agua rica en oxígeno disuelto, y éstas abundaron notablemente en la E-1 (García), mientras que pocos ejemplares se colectaron en la E-5 (Parque Industrial) y E-6 (Colombia). Los tricópteros también entran en esta categoría y se presentaron en 4 estaciones de muestreo, sobresaliendo la E-1 (García) y la E-6 (Colombia) por presentar los mayores niveles de oxígeno disuelto. En la E-1 (García) se identificó a la “oruga acuática” *Petrophila* sp., el escarabajo *Psephenus* sp., el tipúlido *Antocha* sp., la “chinche de agua” *Abedus* sp., y la “chinche acuática trepadora” *Ambrysus* sp., que no toleran la contaminación. Esto podría justificar que en algunos muestreos se categorizó a la E-1 como

mesosaprobia o moderadamente impactada, de acuerdo con los índices ecológicos y bióticos aplicados (Hilsenhoff, 1991; Lanza Espino, 2000; Merrit y Cummins, 1996; Roldán, 1996; Worf, 1980; Hodkinson y Jackson, 2005).

Los índices bióticos utilizados en el presente trabajo para determinar la calidad del agua del Río Pesquería se han utilizado en otros estudios, tanto a nivel internacional como local, lo cual valida su uso. En Turquía usaron los macroinvertebrados, concentraciones de nitratos, oxígeno disuelto y temperatura para evaluar nueve sitios en el Arroyo Aksu y su tributarios; aplicaron el índice de Shannon-Weinner y el EPT (Ephemeroptera, y Plecoptera y Trichoptera) e identificaron los sitios de buena y mala calidad (Ekingen y Kazanci, 2012). En otro estudio se utilizaron macroinvertebrados a lo largo de un gradiente de contaminación industrial y municipal en el Río Bílina, República Checa. Se usó la riqueza de especies y el índice EPT, y encontraron la fuente de contaminación del río. Destacaron la relación de *Chironomus riparius* con sitios contaminados (Orendt, Wolfram, Adámek, Jurajda y Schmitt-Jansen, 2012). En el Río Pesquería la presencia delatora sería la de *Ch. plumosus*.

En Colombia se evaluó la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos en la Quebrada Vegas de la Clara, Antioquía, donde aplicaron índices de diversidad y reportaron que los odonatos y los tricópteros fueron más abundantes y, aunque el agua presentó una buena calidad biológica, se observó una disminución gradual en la calidad de la misma reflejada en el número de los organismos registrados, disminución de los índices de diversidad

y el aumento en el índice de dominancia. En cambio, en el Río Pesquería, el orden Diptera fue el más abundante y dominante, por lo que se juzgó que la calidad del agua es mala. (Montoya, M.Y., Aguirre, R.N., Caeido, O., y Palacio, J.).

Otro trabajo similar al presente se efectuó en el río Crisul Repede, Rumania, con invertebrados asociados a bentos y la aplicación de índices bióticos, entre ellos el EPT y la abundancia de Chironomidos. Resultó una avanzada degradación de la calidad del agua, una vez que el río ha atravesado los centros urbanos e industriales; además, predominaron grupos taxonómicos que no requieren una especial condición ecológica, comprobando su resistencia y proliferación en presencia de agua muy contaminada, como fue el caso de los dípteros en el presente estudio, específicamente de *Ch. plumosus* (Sinitean y Petrovici, 2012).

En Turquía se evaluó la distribución de macroinvertebrados bentónicos en el arroyo Kesap usando indicadores bióticos; se aplicó el índice de diversidad de Shannon y la categoría del arroyo fue de moderadamente impactado (Girgin, 2010). En el Río Pesquería solo la estación E-I (García) resultó en varios muestreos como moderadamente impactada.

En México se evaluó la calidad del agua a través de insectos acuáticos en tres ríos del estado de Oaxaca, aplicando el Índice Biótico de Hilsenhoff (IBH) y se concluyó que las cuencas altas, medias y bajas de los ríos fueron de buena

calidad (Bárbara-Álvarez, *et. al.*, 2013). En Nuevo León se ha evaluado la calidad del agua mediante insectos acuáticos en el río Salinas (Compeán-Ortíz, 2012), que fue reportado como polisaprobio y después como mesosaprobio por Ramírez-Freire (2000).

Un monitoreo biológico que incluyó a los insectos se realizó en el arroyo Los Chorros, en Arteaga, Coahuila, México. Ahí se aplicó el Índice de Shannon-Weinner y se concluyó que la calidad del agua era óptima para el desarrollo de la biota acuática, antecedente que se consideró en el actual estudio.

La calidad del agua del río Santa Catarina en Nuevo León fue evaluada también mediante insectos acuáticos y el autor concluyó que el río se encontraba en estado mesotrófico; es decir, el agua era de mediana calidad. El método aplicado y muchos géneros reportados también coinciden con el actual estudio (Hernández-Reyes, 2003).

Flores-Laureano (1997) hizo un estudio para evaluar la calidad del agua del Río San Juan, y recomendó realizar un monitoreo biológico que se pudiera relacionar con los parámetros fisicoquímicos, en virtud del impacto que ha tenido y sigue teniendo la contaminación sobre la fauna acuática. Esta solicitud se ha cumplido en la presente investigación, al relacionar los insectos que resultaron bioindicadores de contaminación con los parámetros fisicoquímicos.

La calidad del agua del Río Pesquería fue evaluada mediante el análisis de su ecosistema bentónico en tres localidades por Bermejo-Acosta (2003). Él aplicó el Índice de Shannon-Weinner y el Índice Biótico de Hilsenhoff. Finalmente, un biomonitoreo de la calidad del agua mediante insectos acuáticos se realizó en el Río Pesquería, abarcando seis estaciones de muestreo (Rodríguez-Castro, 2010), mientras que en el actual estudio se consideraron doce. En ambos se empleó el Índice de Shannon-Weinner, el EPT, el Índice de Hilsenhoff y la riqueza de especies. Los resultados obtenidos coincidieron en considerar la calidad del agua del Río Pesquería como Polisaprobia, con la diferencia de que en el estudio actual la estación E-1 (García), en seis muestreos se categorizó como moderadamente impactada de acuerdo con la riqueza de especies y el Índice de Hilsenhoff. Los géneros y/o especies registrados coinciden con los reportados en la bibliografía; además, en ambos estudios se identificó como un factor de riesgo para la salud humana a *Ch. plumosus*, *Cx. quinquefasciatus* y *Psychoda* sp. (Rodríguez-Castro, 2010; Quiroz *et al.*, 2006).

Otro dato interesante es que la Comisión Nacional del Agua ya comenzó a utilizar los índices ecológicos y bióticos para complementar los análisis fisicoquímicos en varios ríos del país México.

Se realizó una correlación múltiple entre los bioindicadores de contaminación y los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura,

conductividad, TDS, pH, oxígeno disuelto, salinidad, arsénico, cianuros, turbiedad y nitratos. Existió asociación de la libélula *Erpetogomphus* sp., con la temperatura y el oxígeno; con el pH y la temperatura, el escarabajo *Tropisternus obscurus* y el psicódido *Psychoda* sp.; el escarabajo *Tropisternus* sp., en estadio larval solo estuvo asociado con el pH; el efídrido *Paracoenia*, con cianuros, en cambio, el mosco enano *Ch. plumosus* no se encontró asociado con ningún parámetro fisicoquímico, contrario a lo reportado en la bibliografía donde se le asocia con la temperatura, el oxígeno disuelto, el manganeso y los sulfatos (Slavevska *et al.*, 2013). El ejemplar de la familia Muscidae tampoco mostró asociación con algún parámetro fisicoquímico.

Las estaciones E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln) y E-7 (PTAR Norte) presentaron mayores valores en nitratos, generados por el enriquecimiento de materia orgánica; en el caso de la E-2 debido a las descargas que se apreciaron de las lagunas de oxidación, en la E-3 podría estar relacionado con las descargas de la empresa ubicada aguas arriba (Álcali) y, por último, en la E-7 por las descargas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Se encontraron niveles considerables en las estaciones E-10 (Agua Fría) y E-12 (Adjuntas), lo que justifica las mayores densidades de *Ch. plumosus* en todo el estudio y, aunque no se observaron asentamiento irregulares o descargas que pudieran influir como aporte de nitrógeno, se presume que la fuente podría ser derivada de los fertilizantes que se utilizan en las áreas de cultivo aledañas.

De los análisis realizados quincenalmente en cada estación de muestreo, se obtuvo que la temperatura, el pH, el arsénico y los cianuros se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996. En cambio, en el muestreo que se envió a la Facultad de Ciencias Químicas que fue más completo, se observó que varios parámetros superaron los límites permisibles; por ejemplo, la E-2 (Fosas) presentó 302 mg/l de Sólidos Suspendidos Totales, cuando el máximo es de 60 mg/l para la protección de vida acuática. En esta última categoría excedieron lo permitido las estaciones E-3 (Lincoln), con 96 mg/l, la E-5 (Parque Industrial), con 94 mg/l, la E-6 (Colombia) con 82 mg/l y la E-8 (Laredo) con 92 mg/l. En lo que respecta a la D.B.O., las estaciones E-2 (Fosas) y E-3 (Lincoln) superaron los 60 mg/l que establece la norma y algo importante de notar es que ambas tuvieron en común la ausencia de peces durante todo el estudio, cabe también aclarar que por algún error involuntario no fue posible tomar la lectura en la E-7 (PTAR), por parte del laboratorio.

En cuanto a Nitrógeno total, las estaciones E-2 (Fosas), E-3 (Lincoln) y E-4 (Av. Monterrey) superaron los límites máximos permisibles; por último, en el parámetro de grasas y aceites, el límite máximo permisible es de 25 mg/l, mismo que se superó en la E-8 (Laredo). Referente a los sólidos suspendidos totales, los valores excedentes en el presente estudio están relacionados con las lluvias entonces recientes que se presentaron en el último muestreo, lo que hace considerar que esto también influyó para que se diluyeran las

concentraciones de otros parámetros; por lo tanto, sería conveniente repetir el muestreo con ausencia de lluvias recientes para que los resultados fuesen más precisos.

Aunque desde el punto de vista químico, la calidad del agua del Río Pesquería cumple la mayoría de los parámetros establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996; biológicamente la calidad del agua pertenece a un sistema ecológico severamente impactado.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El uso de insectos acuáticos como indicadores de la calidad del agua de un ecosistema acuático resultó una buena alternativa para obtener información de las condiciones actuales del Río Pesquería, en su trayecto desde el municipio de García hasta el de Pesquería; además de identificar las áreas problemáticas y recomendar medidas preventivas para futuros proyectos.
- Se colectó e identificó un total de 183,289 insectos acuáticos en el período de muestreo que abarcó del 15 de noviembre de 2012 al 28 de abril de 2013. Éstos correspondieron a siete Órdenes de la clase Insecta, con 26 familias y 39 género/especies. El orden Diptera presentó la mayor densidad de población, ocupando el 98.475% de los insectos colectados.
- El modelo ecológico aplicado indicó que el Río Pesquería presentó un estado ecológico polisaprobio en toda el área de estudio, de acuerdo con la diversidad y la densidad de insectos, donde el agua presentó abundante materia orgánica y baja concentración de oxígeno disuelto.

- Los índices bióticos utilizados señalaron que el río se encontró severamente impactado, con pobre calidad del agua, de acuerdo al valor de riqueza de especies, el valor EPT y el Índice Biótico de Hilsenhoff.
- Los insectos acuáticos indicadores de contaminación en agua de mala calidad fueron: la libélula *Erpetogomphus* sp., los escarabajos acuáticos *Tropisternus* sp., en estadio larval y *T. obscurus*; el mosquito enano *Chironomus plumosus*, la mosca *Psychoda* sp., el efídrido *Paracoenia* sp., y un ejemplar de la familia Muscidae. A excepción de *Ch. plumosus* y el ejemplar de la familia Muscidae, se encontró una asociación entre las densidades de los insectos indicadores de contaminación y los parámetros fisicoquímicos analizados.
- Se identificaron insectos acuáticos que constituyen un factor de riesgo en la salud humana, debido a que el agua contaminada del Río Pesquería reúne las condiciones necesarias para la proliferación de los mismos; por ejemplo, *Ch. plumosus*, que aunque no es propiamente un vector de enfermedades, si está relacionado con reacciones alérgicas como asma, rinitis, conjuntivitis y dermatitis. También se detectó a la familia Culicidae, que causa enfermedades como la malaria y la encefalitis en el humano; específicamente *Culex quinquefasciatus*, vector del virus del oeste del Nilo que, junto con *Cx. tarsalis* también transmiten la encefalitis de San Luis. Éste último insecto también está relacionado con la encefalitis

equina del Oeste. Por último, en dos estaciones abundó la mosca *Psychoda* sp., relacionada con una enfermedad conocida como pseudomiasis.

- Aunque la calidad del agua del Río Pesquería cumple la mayoría de los parámetros fisicoquímicos analizados de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la protección de vida acuática, en relación con la integridad biológica, la diversidad y densidad de los insectos acuáticos categoriza al área de estudio como un sistema severamente impactado y en un estado ecológico polisaprobio.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de los insectos acuáticos monitoreados, la probabilidad de incomodidades causadas por la emergencia de *Chironomus plumosus* adultos es alta en las estaciones E-10 (Agua Fría) y E-12 (Adjuntas), por lo que se debe considerar lo que se explica a continuación:

- Las exuvias producidas durante la emergencia de los mosquitos enanos, al perder humedad suelen fragmentarse y dispersarse por el aire, actuando propiamente como alérgenos al ser inhalados o bien simplemente al estar en contacto con la piel. A los adultos se les relaciona con reacciones alérgicas como asma, rinitis y conjuntivitis (Rodríguez-Castro *et al.*, 2004).
- El adulto de *Chironomus plumosus* al no alimentarse de sangre, no es considerado problema de salud pública; sin embargo, en su época reproductiva forma enjambres de miles de individuos que han llegado a ser indeseables. Por presentar fototropismo positivo, es decir, porque les atrae la luz, invaden hogares, edificios e industrias, disminuyendo la plusvalía de los inmuebles (Quiroz *et al.*, 2006). Además, excretan una sustancia conocida como “meconio”, con la que manchan las paredes de las construcciones y cuando mueren se acumulan en grandes cantidades produciendo un aspecto de suciedad y mal olor.

BIBLIOGRAFÍA

- Albert, L. A. (1997). *Curso básico de Toxicología Ambiental*. México. Limusa Pp 185-224.
- American Environmental Congress Proceedings. 30 y 31 de agosto y 1 de septiembre de 1995. ITESM-RICA. Monterrey, N.L., México. Pp 131-134.
- APHA-AWWA-WPCF. (1985). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid. Ediciones Díaz Santos. Pp 106-126.
- Arnett, R.H., N.M. Dowine and H. E. Jaques. (1980.) *How to Know the Beetles*. Wm. C. Brown Co. Publishers. USA. 416 pp.
- Azrina, M.Z., C.K. Yap, A.R. Ismail, A. Ismail, S.G. Tan. (2005). "Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of the Langat River, Peninsular Malasia". *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 26:139-146.
- Barba-Álvarez, R., De la Lanza Espino, G., Contreras-Ramos, A., González-Mora, I. (2013). "Insectos acuáticos indicadores de la calidad del agua en México: casos de estudio, ríos Copalita, Zimatán y Coyula, Oaxaca". *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 381-383.
- Bermejo-Acosta, G. (2003). *Proposición metodológica para la evaluación de la calidad del agua del Río Pesquería, mediante el análisis de su ecosistema bentónico, como tributario de la cuenca San Juan, en Nuevo León, México*. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Autónoma de Nuevo León. 94 pp. Tesis inédita.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C. 3-1: 7-20. pp.
- Bode, R. W., M. A. Novak and L. E. Abele. (1991). *Method for Rapid Biological Assessment of Streams*. New York State Department of Environmental Conservation. Albany, NY, USA. 57 pp.
- Carter, J.L., Resh, V. H., Hannaford, M.J. and Myers, M.J. (2011). *Macroinvertebrates as Biotic Indicators of Environmental Quality* En

Methods in Stream Ecology. Second Edition. Hauer and Lamberti Editors. 805-821 pp.

Chapman, D. (1992). *Water quality assessments*. London. Chapman and Hall.

Clements, W.H.(1994). "Benthic invertebrate community responses to heavy metals in the Upper Arkansas River Basin, Colorado". En: *Journal of the North American Benthological Society*. Volume 13, No.1, 30-42 pp.

Compeán Ortiz, I.C. (2012). *Estudio retrospectivo de la calidad del agua mediante insectos acuáticos en el Río Salinas, Municipio de Zuazua, Nuevo León*. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis inédita. 55 pp.

Córdova, S., Gaete, H., Aránguiz, F. & Figueroa, R. (2009). "Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos" *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 37(2): 199-209.

Darsie, R.F. and R. A. Ward. (1981) *Identification and Geographical Distribution of the Mosquitoes of North America*. Mosquito Systematic Suppl. USA. 315 pp.

De la Lanza Espino, G., Hernández, P.S. y Carbajal, P. J. L. (2000). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores)*. México. Plaza y Valdés Editores. 549 pp.

Domínguez, E.; Hurbbard, M.D.; Pescador, M.L. y Molineri, C. (2001). Capítulo 1. Ephemeroptera. pp.17-15. En: Fernández, H.R. & Domínguez, E. (eds.). *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Investigaciones de la UNT, Ciencias Exactas y Naturales; Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo, Tucumán, Argentina. 282 pp.

Durán, M. (2006). "Monitoring water quality using benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters of Behzat stream in Turkey". *Polish Journal of Environmental Studies*, 15 (5). 709 – 717.

Ekingen, P. Y Kazanci, N. (2012). "Benthic macroinvertebrate fauna of the Aksu stream (Giresun, Turkey) and habitat quality assesment based on European Union Water Framework Directive criteria". *Review of Hydrobiology*, 5,1: 35-55.

Fernández, H.R y Domínguez, E. (eds.) (2001). *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Investigaciones de la UNT, Ciencias Exactas y Naturales; Universidad Nacional de Tucumán,

Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo, Tucumán, Argentina.
282 pp.

Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. Y Parra, O. (2003). “Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile” *Revista Chilena de Historia Natural*, 76: 275-285.

Flores-Laureano, J.S. (1997). *Evaluación de la calidad del agua del río San Juan en el estado de Nuevo León*. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. 112 pp. Tesis inédita.

Franco, L. J. (1985). *Manual de ecología*. México, Trillas. 128-157 pp.

Gaytán, M. M. (1994). *Evaluación de los parámetros físico-químicos en las aguas del río Pesquería*. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. 65 pp. Tesis inédita.

Gil, R. M. (2005). *Procesos de descontaminación de aguas. Cálculos Informáticos Avanzados*. España. Thomson Editores. 47- 55 pp.

Girgin, S. (2010). “Evaluation of benthonic macroinvertebrate distribution in a stream environment during summer using biotic index”. *International journal of Environmental Science and Technology*, 7 (1), 11-16.

González del Tánago del Río, M. y García de Jalón Lastra, D. (1998) *Restauración de ríos y riberas*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid. Pp 96-112.

Hauer, F. R., and Resh, V.H.(2011). *Methods in stream ecology*. 2011. Second edition. Academic Press. 435-449 pp.

Henry, J.G. y Heinke, G.W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Segunda edición. México. Ed. Pearson Educación. Pp 338-436.

Hodkinson, I.D. y Jackson, J.K. (2005). *Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular reference to mountain ecosystems*. *Environmental Management (USA)* Vol. 35, 5, 649-666.

Hernández Reyes, J.C. (2003). *Evaluación de la calidad del agua del Río Santa Catarina basándose en diversidad y riqueza de insectos acuáticos en el municipio de Benito Juárez, Nuevo León, México*. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. 34 pp. Tesis inédita.

- Hilsenhoff, W.L. (1991). *Diversidad and classification on insects and Collembola*, en J.H. Thorp y A.P. Covich (eds.). Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. EUA: Academic Press. Pp. 593-663.
- Hodkinson, I.D. y Jackson, J.K. (2005). "Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular reference to mountain ecosystems". Environmental Management (USA) Vol. 35, 5, 649-666.
- Hoiland, W.K., Rabe, F.W., y Biggam, R.C. (1994). "Recovery of Macroinvertebrate Communities for metal pollution in the South Fork and mainstem of the Coeur d'Alene River, Idaho". Water Environment Research. (ISSN: 1061-4303) 66:84-88.
- INEGI. (1986). Síntesis Geográfica de Nuevo León. INEGI. México, D. F. Pp 27-28.
- Jonson, R. K.; T. Wiederholm and D. M. Rosenberg. (1993). *Freshwater biomonitoring using individual organism, populations and species assemblages of benthic macroinvertebrates*. In Rosenberg, D. M. And V. H. Resh. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall, New York. USA. 487 pp.
- Kemmer, F. N. y McCallion, J. (1989). *Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. México. McGraw-Hill. Pp 4-20 y 6-19.
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Madrid. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. Madrid. 83 - 413 pp.
- Klemm, D.J. (1982). *A guide to freshwater annelida (Polichaeta, Naidid and Tubificid; Oligochaeta and Hirudinea) of North America*. Kendall/Hunt Publ. Co. Dubuque Iowa. 85 pp.
- Kolmogorov, A. (1941). *Confidence limits for an unknown distribution function*. *Ann. Math. Statist.*, 12, Pp 461-463.
- Kolkwitz, R. and M. Marsson. (1909). "Ecology of animal saprobia. Biology of water pollution. A collection of selected papers on stream pollution waste water and water treatment". USA Department of Interior. Federal Water Pollution Control Administration. 95 pp.
- Krebs, C. J. (1985). *Ecología, estudio de la distribución y abundancia*. Segunda edición. México. Editorial Harla. 502 pp.

- La Rivers, I. (1953). "The Ambrysus of Mexico (Hemiptera: Naucoridae)". Science Bulletin 35(10):1279-1329.
- Lehmkuhl, D.M. (1979). *How to know the aquatic insects*. Wm. C. Brown Co. and Publish. USA. 168 pp.
- Manahan, S.E. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. México. Reverté. Pp 145-177.
- Margaleft, R. (1982). *Ecología*. Barcelona. Omega, Pp 75-765.
- McCafferty, W.P., C.R. Lugo-Ortiz, A. V. Provonsha y T.Q. Wang. (1997). *Los efemerópteros de México: I. Clasificación superior, diagnosis de familias y composición*. *Dugesiana*. 4(2): 1-30.
- Medianero, E. y Samaniego, M. (2004). "Comunidad de insectos asociados a condiciones de contaminación en el río Curundú, Panamá". *Folia Entomol. Mex.*, 43(3): 279-294.
- Merrit, R. W. and W. Cummins. (1996). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Third edition Kendall/Hunt Publish. Co. 876 pp.
- Montoya Moreno, Y., Aguirre Ramírez, N., Caicedo, N., y Palacio, J. (2010). "Dinámica multianual de los macroinvertebrados acuáticos bentónicos en la Quebrada Vegas de la Clara". *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*. 29(2): 201-210.
- NMX-AA-003-(1980). Aguas Residuales. Muestreo.
- NOM-001-SEMARNAT-(1996). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Novelo-Gutiérrez, R. (1997a). *Clave para determinación de náyades de Odonata de México*, Parte II. Anisoptera. *Dugesiana*. 4(2): 31-40.
- Novelo-Gutiérrez, R. (1997b). *Clave para la separación de familias y géneros de las náyades de Odonata de México*, Parte I Zygoptera. *Dugesiana*. 4(1): 1-10.
- Odum, E. P. (1972). *Ecología*. Tercera edición. México. Interamericana. Pp 116.
- Orendt, C., Wolfram, G., Adámek, Z., Jurajda, P. y Schmitt-Jansen, M. (2012). "The response of macroinvertebrate community taxa and functional groups

to pollution along a heavily impacted river in Central Europe (Bílina River, Czech Republic)". *Biología* 67 (1), 180-199.

Ortiz Roque, I. (1998). *Evaluación del impacto de una descarga generada por una planta tratadora de aguas residuales sobre el río Pesquería en el estado de Nuevo León*. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis inédita. 90 pp.

Pan, B.Z., Wang, Z. et al., (2013). "An exploratory analysis of benthic macroinvertebrates as indicators of the ecological status of the Upper Yellow and Yangtze Rivers". *Journal of Geographical Sciences*, 23 (5): 871-882.

Peña-Estrada. A. (2005). *Determinación de la calidad del agua y riesgos entomológicos en los parques "Ecológico La Silla", "Pipo" y "Tolteca" del Río La Silla en el Municipio de Guadalupe, Nuevo León, México*. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. 48pp. Tesis inédita.

Programa Nacional Hídrico. (2008). Comisión Nacional del Agua. Semarnat. México. Pp 54.

Quiroz, M. H., D. J. Cantú, T.M. Rodríguez y G. M. Dávila. (1995). Listado Preliminar de Insectos de Nuevo León. En *Fauna de Nuevo León*. CCFN. México. Pp 81-98.

Quiroz-Martínez, H y V.A. Rodríguez-Castro. (2006). *Insectos acuáticos como indicadores biológicos*. En *Bioindicadores de contaminación en sistemas acuáticos (insectos acuáticos)*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 96 pp.

Ramírez Freire, L. (2000). *Evaluación de la calidad del río Salinas en base a diversidad y riqueza de insectos acuáticos, en el municipio de General Zuazua, Nuevo León, México*. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis inédita. 58 pp.

Resh, V.H., M.J. Myers y M.J. Hannaford (1996). *Macroinvertebrates as biotic indicators of environmental quality*, en *Haver, F.R. y G.A. Lamberti* (eds.). *Methods in Stream Ecology* 647-665. San Diego: Academic Press.

Rodríguez-Castro, V. A. (2010). *Biomonitoreo de la calidad del agua del río Pesquería, Nuevo León, México, mediante insectos acuáticos*. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis inédita. 191 pp.

- Rodríguez-Castro V. A., Quiroz-Martínez, M.H., Badii, Z. M.H., y Solís, R. C. (2004). "Riesgos entomológicos asociados a aguas contaminadas". En: RESPYN. Revista Salud Pública y Nutrición, Julio-Septiembre. Vol.5 No.3 Pp 1-9.
- Roldán P., G. (1996). *Guía para el estudio de los macro-invertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía*. FEN-Colombia, COLCIENCIAS - Universidad de Antioquia, Medellín. 217 pp.
- Roldán Pérez, G. (1999). *Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua*. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 23(88): 375-387.
- Rosenberg, D. M. And V. H. Resh. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman and Hall, New York. USA. 487 pp.
- Saldaña, F.P., Sandoval, M.J.C., López, L.R., y Salcedo, S.E. (2001). *Utilización de un Índice de Diversidad para determinar la calidad del agua en sistemas lútricos*. Ingeniería Hidráulica en México 16(2):57-66.
- Sandoval, J.C. y Molina, A.I. (2000). Insectos. p. 405-439. En: *Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores)*. De la Lanza, E.G., Hernández, P.S. y Carbajal, P.J.L. México. Plaza y Valdés. 633 pp.
- Sinitean, A. Y Petrovici, M. (2012). "Usage of biotic indices in evaluating the impact of the urban centres on the quality of the water in rivers". Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation, 5(2): 30-63
- Slater, J.A. and R. M. Baranowski. (1978). *How to Know the True Bugs*, Wm. C. Brown Company Publishers. USA. 256 pp.
- Slaveska-Stamenkovic V., Paunovic, M., Smiljkov, S. *et al.*, (2012). "Factors affecting distribution pattern of dominant macroinvertebrates in Mantovo Reservoir (Republic of Macedonia)". Arch. Biol. Sci., 67(6): 11249-1142.
- Sutherland, A.B., Culp, J.M. y Benoy, G.A. (2012). "Evaluation of deposited sediment and macroinvertebrate metrics used to quantify biological response to excessive sedimentation in agricultural streams. Environmental Mangement" (USA), 50, 50-63.
- Tebbut. (1994). *Fundamentos de control de la calidad del agua*. México. Limusa. 238 pp.
- Tejada-Orlando, L. (2006). *Introducción a los Bioindicadores de Contaminación en Sistemas Acuáticos*. Departamento de Agronegocios y Producción Agrícola, ITESM. *Bioindicadores de Contaminación en Sistemas Acuáticos*

(*Insectos acuáticos*). Editores Quiroz-Martínez y Rodríguez Castro. UANL. 11-17 pp.

Terneus, E., Hernández, K. Y Racines, M.J. (2012). "Evaluación ecológica del río Lliquino a través de macroinvertebrados acuáticos, Pastaza-Ecuador. Revista de Ciencias" (16): 31-44.

Torres-Muñiz, A. (1998). *Monitoreo de la comunidad planctónica, bentónica y asociada a macrofitas, en un transecto impactado del arroyo los Chorros, Arteaga, Coahuila. México.* Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Autónoma de Nuevo León. 90 pp. Tesis inédita.

Townsend, C.R., A.G. Hildrew and J. Francis. (1983). "Community structure in some southern English stream: The influence of physiochemical factors", en *Freshwater Biology* 13:521-544.

Usinger, R. (1956). *Aquatic insect of California with keys to North American genera and California species.* University of California Press. USA. 568 pp.

Valdés, A. (1998). "Censo preliminar en el Arroyo Mireles, Allende, Nuevo León. Laboratorio de Acuicultura". Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Trabajo inédito.

Vogel, E., M.A. Bernal, J. Navar and G. Alanís. (1995). "Study of the chemical analysis of contamination by metals of the Pesquería river." Second Inter-American Environmental Congress Proceedings. 30 y 31 de agosto y 1 de septiembre de 1995. ITESM-RICA. Monterrey, N.L., México. Pp 131-134.

Worf, D.L. (1980). *Biological Monitoring for Environmental Effects.* Lexington Books. Printed in the United States of America. 223 pp.

Weber, C. L (1973). *Biological Field and Laboratory Methods for Measuring the Quality of Surface Waters and Effluents.* E.P.A. U. S. A. Chapter V: Invertebrates.

Zar, J.H. (1996) *Biostatistical analysis.* Prentice Hall. 659 pp.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Alma Elizabeth Torres Muñiz

Candidato para el Grado de

Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Tesis: MONITOREO DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PESQUERÍA, DESDE EL MUNICIPIO DE GARCÍA HASTA PESQUERÍA, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Campo de Estudio: Ciencias Ambientales

Biografía:

Datos Personales: nacida en Guadalupe, Nuevo León, el 24 de abril de 1974, hija de María Concepción Muñiz García y Juan Torres Segovia.

Educación: Egresada de la Universidad Autónoma de Nuevo León, con el grado de Biólogo, en 1998.

Experiencia Profesional:

Auxiliar en el Departamento de Ecología y Seguridad e Higiene de la empresa LAMOSA REVESTIMIENTOS, S.A. de C.V.

Jefe del proyecto: "Trabajos para continuar la restauración del acuífero asociado a la Ex –Terminal de Almacenamiento y Distribución San Rafael, municipio de Guadalupe, Nuevo León, que contempla el manejo de producto recuperado dentro de la instalación de PEMEX refinación, así como informe final de resultados"

Responsable de implantar el Programa de Gestión Ambiental en la Residencia de Estudios Monterrey de Comisión Federal de Electricidad.

Responsable del Sistema de Calidad Total en la Residencia de Monterrey, implantado por la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de la Comisión Federal de Electricidad (Incluye Calidad, Ambiental y Seguridad).

Elaboración de estudios de Impacto Ambiental.

Dirección de correo: abetty24@gmail.com