

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA  
ESCUELA DE BIOLOGÍA



"DETERMINACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES FECALES EN EJEMPLARES  
DE *Protothaca asperrima* EN CUATRO ECOSISTEMAS ESTUARINOS DE LA ZONA  
ORIENTAL DE EL SALVADOR"

PRESENTADO POR:

SEBASTIÁN CAMPOS MACHADO

PARA OPTAR AL GRADO DE:  
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2007

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA  
ESCUELA DE BIOLOGÍA



"DETERMINACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES FECALES EN EJEMPLARES  
DE *Protothaca asperrima* EN CUATRO ECOSISTEMAS ESTUARINOS DE LA ZONA  
ORIENTAL DE EL SALVADOR"

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

SEBASTIÁN CAMPOS MACHADO

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

ASESOR: \_\_\_\_\_

Dr. RIGOBERTO AYALA

ASESOR: \_\_\_\_\_

Dr. JOSÉ ENRIQUE BARRAZA

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO, 2007

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA  
ESCUELA DE BIOLOGÍA



"DETERMINACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES FECALES EN EJEMPLARES  
DE *Protothaca asperrima* EN CUATRO ECOSISTEMAS ESTUARINOS DE LA ZONA  
ORIENTAL DE EL SALVADOR"

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

SEBASTIÁN CAMPOS MACHADO

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

JURADO: \_\_\_\_\_

Lic. JOSÉ JUAN RIVERA

JURADO: \_\_\_\_\_

M. Sc. OSCAR ARMANDO MOLINA

CIUDAD UNIVERSITARIA AGOSTO, 2007

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

RECTORA

Dr. MARIA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIA GENERAL

Licda. ALICIA MARGARITA RIVAS

FISCAL:

Lic. PEDRO ROSALIO ESCOBAR

DECANO:

M.Sc. JOSE HECTOR ELIAS DÍAZ

DIRECTORA DE LA ESCUELA

M.Sc. ANA MARTHA ZETINO CALDERON

CIUDAD UNIVERSITARIA AGOSTO, 2007

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

ASESOR:

DR. RIGOBERTO AYALA

ASESOR:

DR. JOSÉ ENRIQUE BARRAZA

JURADO EVALUADOR:

LIC. JOSÉ JUAN RIVERA

JURADO EVALUADOR:

M. SC. OSCAR ARMANDO MOLINA

CIUDAD UNIVERSITARIA AGOSTO, 2007

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios todopoderoso por todas las bendiciones y fuerzas que me ha brindado durante toda mi formación académica. A mi madre Carmen Machado Funes por sus consejos y que con su apoyo incondicional siempre estuvo a mi lado desde los inicios de mis estudios a mi padre José Cecilio Campos quien me impulsó a la superación y que ahora desde el cielo me ha llenado de fuerzas para lograr mi meta.

A mis asesores Dr. Rigoberto Ayala y Dr. Enrique Barraza por todo su apoyo profesional, científico; así como a los miembros del jurado evaluador Lic. José Juan Rivera y M. Sc. Oscar Armando Molina Lara.

También agradezco a todas las personas que me ayudaron durante el período de muestreo de este trabajo de graduación: Lic. Oscar Carranza de CODEPA-Puerto Parada, Lic. Luis Ángel Ramírez Benítez de CENDEPESCA-Puerto El Triunfo, al Sr. Luís Ventura personal de apoyo (ICMARES) de El Tamarindo y a todos mis compañeros quienes siempre estuvieron aconsejándome y apoyándome durante todo este periodo.

Así mismo expreso mis más sinceros agradecimientos a la Dirección General de Patrimonio Natural del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y a la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) por su fina y valiosa colaboración brindada a la logística, así como el financiamiento de los análisis de laboratorio.

**Sebastián Campos.**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

<b>CONTENIDO</b>	<b>Página</b>
ÍNDICE DE CUADROS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE ANEXOS	VI
RESUMEN	VII
I  INTRODUCCIÓN	i
II OBJETIVOS	18
III HIPÓTESIS	19
IV REVISION DE LITERATURA	20
4.1 CONTAMINACION DEL AGUA	20
4.2 BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	21
4.3 BACTERIAS COLIFORMES FECALES	22
4.4 MOLUSCOS DE EL SALVADOR	24
4.5 MOLUSCOS MARINOS COMESTIBLES DE EL SALVADOR	24
4.6 DESCRIPCION DE <i>Protothaca asperrima</i>	25
4.6.1 Características Externas	25
4.6.2 Aspectos Biológicos	25
4.7 CONTAMINACION EN ECOSISTEMA ESTUARINOS	26
4.8 BIOMONITORIZACION	27
V  METODOLOGÍA	30
5.1 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	30
5.1.1 BAHÍA DE JIQUILISCO	30
5.1.1.1 PUERTO EL TRIUNFO	30
5.1.1.2 PUERTO PARADA	31
5.1. 2 ESTERO EL TAMARINDO	32
5.1.3 BAHÍA LA UNION	33
5.2 METODOLOGÍA DE CAMPO	35

### III

5.2.1 Extracción y Procesamiento de Muestras de Almeja	38
5.2.2 Procesamiento de las Muestras de Agua Estuarina	39
5.3 METODOLOGÍA DE LABORATORIO	39
5.3.1 Análisis bacteriológico de tejido blando de <i>Protothaca asperrima</i>	39
5.3.2 Análisis bacteriológico de agua estuarina	40
5.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	41
VI RESULTADOS	43
6.1 SALINIDAD	43
6.2 COLIFORMES FECALES (CF) EN TEJIDO BLANDO DE <i>Protothaca asperrima</i>	44
6.3 COLIFORMES FECALES (CF) EN AGUA ESTUARINA	48
6.4 COMPARACIÓN ESTADÍSTICA	52
6.4.1 Homogeneidad de la varianza	52
6.4.2 Análisis de Varianza	53
6.4.3 Correlación	55
6.4.4 Correlación y regresión CF vrs. Distancia asentamientos humanos	57
VII DISCUSIÓN	59
VIII CONCLUSIONES	70
IX RECOMENDACIONES	72
X REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE CUADROS

		<b>Pág.</b>
1	Fechas y lugares de recolecta registrados durante la campaña de muestreo en Puerto El Triunfo, Puerto Parada, El Tamarindo y Bahía La Unión Noviembre - Diciembre 2006	35
2	Salinidad de los cuatro sitios de muestreo durante el periodo de Noviembre – Diciembre 2006	43
3	Valores de Coliformes Fecales en <i>Protothaca asperrima</i> para los cuatro sitios de muestreo con distancia de los lugares de recolecta a los asentamientos humanos, en el periodo de Noviembre - Diciembre 2006	44
3	Estadísticos de tendencia central y dispersión determinados para los niveles de NMP/g en tejido blando de <i>Protothaca asperrima</i>	45
4	Valores de Coliformes Fecales en agua estuarina para los cuatro sitios de muestreo con distancia de los lugares de recolecta a los asentamientos humanos, en el periodo Noviembre – Diciembre 2006	48
5	Estadísticos de tendencia central y dispersión determinados para los niveles de NMP/100ml en agua estuarina	49
6	Prueba de homogeneidad para valores de CF en Tejido de almeja y agua estuarina comparando cada sitio de muestreo utilizando la prueba de Levene F: valor calculado mediante ANAVA, P: Probabilidad del error, NS: No existe diferencia significativa en la comparación estadística ( $p > 0.05$ )	52
7	Análisis de varianza de un solo factor para comparar niveles de CF/g en Tejido blando de <i>P. asperrima</i> entre los diferentes lugares de muestreo. SC: Suma de Cuadrados, GL: Grados de libertad, PC: Promedio de los cuadrados, F: Valor calculado, P: Probabilidad de error, FV: Mínimo valor para considerar que no hay diferencia significativas. * Diferencias significativas ( $p < 0.05$ )	53
8	Análisis de varianza de un solo factor para muestras de agua estuarina. SC: Suma de Cuadrados, GL: Grados de libertad, PC: Promedio de los cuadrados, F: Valor calculado, P: Probabilidad de error, FV: Mínimo valor para considerar que no hay diferencia significativas. * Diferencias significativas ( $p < 0.05$ )	54
9	Valores de CF y su transformación logarítmica obtenidos de las muestras de agua estuarina y tejido blando de <i>P. asperrima</i>	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

		<b>Pág.</b>
1	Sitio de Muestreo correspondiente a Puerto El Triunfo Durante el periodo Noviembre – Diciembre 2006.	31
2	Sitio de Muestreo correspondiente a Puerto Parada Durante el periodo Noviembre – Diciembre 2006.	32
3	Sitio de Muestreo correspondiente a El Estero El Tamarindo Durante el periodo Noviembre – Diciembre 2006.	33
4	Sitio de Muestreo correspondiente a Bahía La Unión Durante el periodo Noviembre – Diciembre 2006.	34
5	Ubicación de las estaciones de muestreo en Bahía de Jiquilisco. PT: Puerto El Triunfo, PP: Puerto Parada	36
6	Ubicación de las estaciones de muestreo en el Departamento de La Unión. BU: Bahía La Unión, ET: Estero El Tamarindo	37
7	<i>Protothaca asperima</i> (Sowerby 1835)	38
8	Media geométrica de CF en <i>P. asperrima</i> y desviación estándar para Puerto El Triunfo (Noviembre – Diciembre 2006)	45
9	Media geométrica de CF en <i>P. asperrima</i> y desviación estándar para Puerto Parada (Noviembre – Diciembre 2006)	46
10	Media geométrica de CF en <i>P. asperrima</i> y desviación estándar para El Tamarindo (Noviembre – Diciembre 2006)	46
11	Media geométrica de CF en <i>P. asperrima</i> y desviación estándar para La Unión (Noviembre – Diciembre 2006)	47
12	Media geométrica de CF en agua estuarina y desviación estándar para Puerto El Triunfo (Noviembre – Diciembre 2006)	49
13	Media geométrica de CF en agua estuarina y desviación estándar para Puerto Parada (Noviembre – Diciembre 2006)	50
14	Media geométrica de CF en agua estuarina y desviación estándar para El Tamarindo (Noviembre – Diciembre 2006)	50
15	Media geométrica de CF en agua estuarina y desviación estándar para La Unión en el periodo de (Noviembre – Diciembre 2006)	51
16	Relación entre los niveles de CF en agua estuarina con niveles de CF en tejido blando de <i>P. asperrima</i> ( $r = 0.56$ $p < 0.01$ )	56
17	Log Distancia vrs. Log CF Almeja y su ajuste de regresión lineal ( $\text{Log } Y = -0.48\text{Log } X + 2.57$ )	57
18	Log Distancia vrs. Log CF agua estuarina y su ajuste de regresión lineal ( $\text{Log } Y = -0.69\text{Log } X + 4.20$ )	58

**ÍNDICE DE ANEXOS**

- 1 Tabla de cálculo de NMP/g serie de tres tubos.
- 2 Tabla de cálculo de NMP/100ml serie de cinco tubos.
- 3 Estadísticos de tendencia central para Puerto El Triunfo y Puerto Parada.
- 4 Estadísticos de tendencia central para El Tamarindo y La Unión.

**RESUMEN**

En este estudio se determinaron los niveles de coliformes fecales (CF) en ejemplares de *Protothaca asperrima* recolectados en cuatro ecosistemas estuarinos de la zona oriental de El Salvador. Estos ecosistemas se ubican en Bahía de Jiquilisco (Puerto El Triunfo y Puerto Parada), así como El Estero El Tamarindo y Bahía La Unión. Dicho estudio fue realizado con la finalidad de utilizar a dicho bivalvo como biomonitor de contaminación por material fecal en ecosistemas marinos. De igual forma se realizó el mismo análisis en agua estuarina de los lugares ya mencionados, para poder así detectar su calidad sanitaria. Los resultados obtenidos de un total de 200 ejemplares recolectados por sitio reflejaron que en los cuatro ecosistemas estuarinos existe contaminación por material fecal. Obteniendo los mayores niveles en Estero El Tamarindo y Bahía La Unión (15–1101 NMP/g). Los niveles mínimos se registraron en Puerto El Triunfo así como en Puerto Parada (2-1101 NMP/g). Con relación a los niveles de CF en agua estuarina los niveles mas altos ocurrieron en Bahía La Unión (1800-50000 NMP/100ml). Estas variaciones están asociadas a varios factores, incluyendo distancia a asentamientos humanos importantes (>1000 habitantes). La utilidad de esta especie como biomonitor de contaminación por material fecal en estuarios presenta una muy buena opción, ya que, durante el periodo de muestreo presentó facilidad de recolecta en los diferentes sitios en estudio. En términos de calidad sanitaria se determinó que dicho molusco crudo no es apto para consumo humano ya que el 100% de las muestras supera el nivel permisible recomendado por la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA) de los Estados Unidos de América (2.3 NMP/100 g).

**ABSTRACT**

In this study we determined the levels of fecal coliform (FC) in samples of *Protothaca asperrima* collected in four ecosystems of the Eastern zone of El Salvador. Those ecosystems are located in Bay of Jiquilisco (Puerto El Triunfo and Puerto Parada), as well as El Tamarindo and La Union Bay estuaries. This study proposes the use of this bivalve as fecal pollution biomonitor in marine ecosystems. Moreover, samples of estuarine water were taken to detect FC. The results from 200 bivalve samples collected per site confirmed fecal pollution in the four estuaries. El Tamarindo and La Union Bay estuaries presented highest levels (15-1101 NMP/g). The other two sites also registered important levels of fecal coliform bacteria (2-1101 NMP/g), but the highest one occurred only once at Puerto Parada. La Union Bay presented the greatest fecal pollution in estuarine water (1800-50000 NMP/100ml). These variations are associated to large human settlements (>1000 inhabitants) presence. The usefulness of this species as a fecal pollution biomonitor in estuaries is reliable due to its abundance in the sampling areas. We determined that this mollusc is not reliable as food for humans because the 100% of the samples are above the permissible level recommended for raw bivalves consumption by the United States Food and Drug Administration (2.3 NMP/100g).

## I. INTRODUCCIÓN

La zona costera, en su condición de área fronteriza entre el continente y el océano, es la más afectada por las actividades económicas tales como urbanización, pesca, turismo e industria, y por el impacto antropogénico local y el que se origina a distancia que es luego aportado por el influjo de los ríos. Sin estas actividades económicas, son muchos los beneficios reales de la zona costera (Chapman *et al.*, 1987).

La contaminación costera se incrementa a medida que ocurre la necesidad de obtener los bienes y servicios que nos proporcionan los ecosistemas acuáticos asociados, que también se alteran por las actividades económicas tales como la urbanización, pesca, turismo e industria. Para Salazar-Vallejo (1991), uno de los efectos más notorios debido a estas actividades económicas es la contaminación ambiental principalmente la ocasionada al medio marino producto de la actividad antrópica.

Yáñez-Arancibia, (1986) mencionó que la zona costera se caracteriza por la interacción de propiedades y características físico-químicas de sus aguas; también por las fuerzas y procesos que forman, mantienen y modifican áreas y sistemas de esas zonas, así como por las relaciones entre el agua, los sedimentos, la línea de costa, el clima, los organismos vivientes de la comunidad y los movimientos de materia y energía provenientes de las aguas y tierras continentales próximas. Además estos ambientes costeros están siendo utilizados por las sociedades modernas causando efectos indeseables como la contaminación por diversas causas sobre la misma sociedad.

Uno de los problemas sanitarios más críticos en los países de América Latina y otras zonas en desarrollo, es la descarga incontrolada de aguas residuales domésticas sin tratamiento, las cuales contaminan los recursos hídricos superficiales, subterráneos y las zonas costeras. De esta forma el agua residual puede afectar algunas zonas de importancia turística o pesquera (González *et al.*, 2000).

Los mismos autores mencionaron que un aspecto fundamental a considerar en aguas destinadas para diversas actividades humanas es la evaluación de los criterios asociados con la calidad microbiológica del agua. Por lo general, ella se mide por medio de los indicadores bacterianos de contaminación fecal como los coliformes y se relacionan con la posible presencia de microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades por ingestión o contacto con agua contaminada. Sin embargo, cada día se hace más notable que la relación de coliformes y organismos patógenos muchas veces no se cumple, especialmente en países de clima tropical, donde se hace necesaria la implementación de técnicas apropiadas para el control de la contaminación.

Para Salazar-Vallejo (1991), el tipo más común de contaminación del agua es el vertido de las aguas residuales, que se deben de entender como una mezcla muy heterogénea de varios tipos de contaminantes, pero en la que la materia orgánica conforma la mayor proporción. Este tipo de contaminación crea uno de los impactos más severos sobre la salud humana, en la cual tienen mucho que ver la contaminación por bacterias y patógenos fecales.

Así mismo las aguas costeras con fines recreativos como las playas, por lo general se encuentran en las proximidades de áreas urbanas donde los vertidos sin depurar, con altos

contenidos de microorganismos patógenos y otros agentes contaminantes, representan uno de los principales problemas sanitarios y ecológicos de las zonas costeras (Borrego & Mariño, 1995).

Estos tipos de problema impactan no solo a este tipo de ecosistema sino también a las especies que habitan en el área, tales como los bivalvos (Salas, 2000). Ellos se alimentan filtrando el agua y por lo tanto tienden a concentrar contaminantes, constituyéndose en un medio favorable para la proliferación o dispersión de organismos perjudiciales para la salud.

Debido a este tipo de información sobre estudios de contaminación en zona costeras nuestro país debe de contar con dicha información, ya que como lo menciona McKenzie, (2001) a nivel centroamericano, El Salvador presenta el número más alto de pescadores dedicados a la extracción de moluscos, lo que permite una amplia comercialización de éstos.

Los estudios de determinación de contaminación por materia fecal u otro tipo de contaminante en moluscos son de mucha importancia, debido a su fácil captura e identificación. La eficacia en la utilización de dichos organismos se ha demostrado en nuestro país con los estudios realizados en la Bahía de La Unión por (Barraza & Carballeira, 1998), donde utilizaron a *Mytella guyanensis* para la identificación de metales pesados. Así mismo un estudio más detallado sobre niveles de As, Hg y Pb en *Anadara* spp., en el estero de Jaltepeque fue realizado por Azucena & López (2006). De igual forma, las mismas especies (*A. similis* y *A. tuberculosa*) fueron utilizadas por Melara (2006), como indicador de la calidad ambiental de los estuarios Barra de Santiago,

Jaltepeque y El Tamarindo. Es por ello que con este tipo de estudio relacionado a la contaminación marina se pretende utilizar a *Protothaca asperrima* como biomonitor de contaminación fecal en estuarios así como su calidad sanitaria y también inferir en la calidad ambiental de estos ecosistemas mediante el monitoreo propuesto.

En ese sentido, De la Lanza *et al.* (2000), mencionan que el empleo de bioindicadores está enfocado para medir la salud del ecosistema así como para determinar el impacto potencial al ámbito humano. Frecuentemente se usan macroinvertebrados (insectos, moluscos y crustáceos) por su fácil colecta, manejo e identificación.

Para la elaboración del presente estudio, se contó con el apoyo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Los análisis de coliformes fecales en tejido blando y jugo de la almeja *P. asperrima* se realizaron en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES).

Tomando en cuenta que en nuestro país el uso de las zonas costera es utilizado no solamente para la extracción de moluscos bivalvos sino que también para uso recreativo, es sumamente necesario obtener conocimiento acerca de la calidad sanitaria de los ecosistemas estuarinos así como de los bivalvos extraídos. De esta manera, se utilizó a la almeja *P. asperrima* como biomonitor de contaminación por material fecal y así determinar la calidad ambiental de los estuarios Bahía de Jiquilisco, Bahía La Unión y El Tamarindo.

## II. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Determinar los niveles de contaminación por bacterias coliformes fecales en *Protothaca asperrima* recolectados en cuatro ecosistemas estuarinos aledaños a asentamientos urbanos en las Bahías de Jiquilisco y La Unión así como Estero El Tamarindo.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Detectar la calidad sanitaria de los ejemplares de *P. asperrima* recolectados de las diferentes zonas de estudio.
- Determinar la variación de los niveles de coliformes fecales, presentes en el tejido blando de ejemplares de *P. asperrima* recolectados en las cuatro zonas de estudio.
- Correlacionar los niveles de contaminación por coliformes fecales en *P. asperrima* con los niveles de coliformes fecales presentes en el agua estuarina de las áreas de muestreo.

### III. HIPÓTESIS

#### **Hipótesis de investigación**

Determinar los niveles existentes de contaminación por coliformes fecales en las poblaciones de *Protothaca asperrima* en las Bahías de Jiquilisco y La Unión, así como el Estero El Tamarindo.

#### **Hipótesis nula**

No hay diferencia significativa en los niveles de contaminación por bacterias coliformes fecales en las poblaciones de *P. asperrima* en los cuatro puntos de muestreo.

#### **Hipótesis alternativa**

La significancia de niveles de contaminación por bacterias coliformes fecales en las poblaciones de *P. asperrima* es diferente en los cuatro puntos de muestreo.

#### **Hipótesis estadísticas**

Ho :  $X_1 = X_2 = X_3 = \dots X_n$

Ha:  $X_1 \neq X_2 \neq X_3 \neq \dots X_n$

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La calidad del agua está estrechamente unida a la calidad de vida. La exposición a agentes infecciosos y compuestos químicos tóxicos puede ocurrir por medio de la ingestión directa de agua, mariscos (principalmente bivalvos) y otros alimentos cosechados en aguas contaminadas o irrigados, lavados o preparados con ellas y además, por el contacto con aguas contaminadas al bañarse o realizar actividades recreativas (natación, buceo) y una higiene deficiente asociada al déficit del agua (Havelaar *et al.*, 2001).

Los usos del agua para otros fines que no sean de consumo, por ejemplo la recreación, la agricultura y acuicultura están contribuyendo significativamente a la eutrofización y la introducción de agentes infecciosos. La contaminación del agua debido a estos usos presenta una gran fuente de peligro a la salud humana. Por ejemplo, la contaminación de mariscos es una de las causas mayores del cólera en las regiones costeras de países en vías de desarrollo (Ford, 1993).

Por lo general, la calidad microbiológica del agua se mide por medio de los indicadores bacterianos de contaminación fecal como los coliformes y se relacionan con la posible presencia de microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades por transmisión hídrica (González *et al.*, 2000). Los mismos autores mencionan que uno de los problemas sanitarios más críticos en los países en vías de desarrollo, es la descarga incontrolada de aguas residuales domésticas sin tratamiento, las cuales contaminan los recursos hídricos superficiales, subterráneas y las zonas costeras.

También, Salazar-Vallejo (1991) consideró a la contaminación marina como “la introducción antropogénica de sustancias indeseables que dañan a los recursos vivos, perjudican la salud humana, impiden el desarrollo de actividades marítimas, incluyendo la pesca, deterioran la calidad del agua para su uso, y reducen las posibilidades del uso de las áreas costeras como sitio de recreo”. El mismo autor mencionó que el término “indeseable” es muy subjetivo.

La calidad microbiológica del agua se puede determinar mediante organismos indicadores cuyas densidades o concentraciones en el agua pueden ser cualitativamente relacionadas con el riesgo a la salud que implica el uso de ésta. El criterio de la calidad del agua se considera como la relación cuantificable de exposición-efecto basada en evidencias científicas entre el nivel de un indicador de calidad del agua y los riesgos potenciales para la salud asociados con su uso (Ashbolt *et al.*, 2001).

#### **4.2 BACTERIAS COLIFORMES TOTALES**

El término “coliforme” fue tomado para describir al siguiente grupo de bacterias entéricas (*Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Proteus*, *Citrobacter*). Coliforme no es una clasificación taxonómica sino más bien una definición de trabajo usada para describir a un grupo de bacterias Gram-negativas, anaeróbicas facultativas con forma de bastón que fermentan la lactosa para producir ácido y gas dentro de 24 - 48 h a 35°C. En 1914, el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos de América adoptó la enumeración de coliformes como un estándar más conveniente de importancia sanitaria (Feng *et al.*, 1995).

Así mismo, “coliformes” se aplica a todos los bacilos gran-negativos no esporulados que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares u otro agente tenso activos con similares

propiedades de inhibición de crecimiento. No poseen citocromo oxidasa y fermentan la lactosa con producción de ácidos, gas y aldehídos a 35°-37°C por 24 – 48 horas (OMS, 1995).

La denominación genérica “coliformes”, designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Tradicionalmente se les ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que en los medios acuáticos, los coliformes fecales son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura (Cliver, 1998).

Prescott *et al.*, (1996) presentaron la categorización taxonómica de las bacterias coliformes, ubicándolas así de la siguiente manera: Reino Monera, Phylum Proteobacteria, Clase Gamma Proteobacteria, Orden Enterobacteria, Familia Enterobacteriaceae.

#### **4.3 BACTERIAS COLIFORMES FECALES**

Las bacterias coliformes fecales conforman un subgrupo de las bacterias coliformes totales, presentan características similares, excepto que toleran y crecen a una temperatura mayor; 44 – 45°C, generando indol a partir de triptófano. Los organismos que poseen estas propiedades son considerados presuntos de *E. coli* (OPS, 1995).

*E. coli* es una bacteria anaerobia facultativa y forma parte de la flora intestinal normal de animales y humanos. Ésta crece muy bien en medios de gran simplicidad; fermenta la

lactosa y forma un brillo verdoso sobre el agar de eosina y azul de metileno; tiene actividad de descarboxilasa de lisina; utiliza el acetato como única fuente de carbono e hidroliza el triptófano para formar indol (Stuart, 2000).

Para Glasner & Mc Kee (2002) las fuentes primarias de agentes patógenos depositados en las aguas se cree que es debido al medio ambiente fecal humano así como de algunos animales. Así mismo se considera que la determinación de coliformes en agua señala posible contaminación por material fecal y la presencia de agentes patógenos a las poblaciones humanas, tal como *Salmonella* sp., *Vibrio* sp., etc. APHA, AWWA, WPCF (1980).

Hace más de un siglo, se propuso el uso de *E. coli* como un indicador de contaminación fecal en agua. Esto estaba basado en la premisa que *E. coli* es abundante en las heces de humanos y animales de sangre caliente así como, difícilmente se encuentran en otros nichos. Además, que *E. coli* pudo ser detectada fácilmente por su capacidad de fermentar glucosa, fue más fácil de aislar que otros patógenos intestinales conocidos. Por lo tanto la presencia de *E. coli* en comida o agua se volvió aceptada como indicador de contaminación fecal reciente y la posible presencia de patógenos entéricos. Aunque el concepto de usar *E. coli* como indicador indirecto de riesgo en la salud fue propuesto, esto era complicado comprobarlo en la práctica debido a la presencia de otras bacterias entéricas como *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* que también pueden fermentar lactosa y son similares a *E. coli* en características fenotípicas así que no son fácilmente distinguidas. Como resultado, *E. coli* ha resurgido como un indicador, en parte facilitado por la introducción de métodos más nuevos que pueden identificar a *E. coli* rápidamente (Feng *et al.*, 1995).

#### **4.4 MOLUSCOS DE EL SAL VADOR**

Los miembros del filo Mollusca son algunos de los invertebrados más llamativos y mejor conocidos e incluyen formas como las almejas, ostras, calamares, pulpos y caracoles. De las siete clases de moluscos actuales la clase Bivalva también denominada Pelecypoda o Lamellibranchia, incluye a organismos tan conocidos como las almejas, ostras y mejillones. Los bivalvos están comprimidos lateralmente y poseen una concha formada por dos valvas que se unen dorsalmente. El pie, al igual que el resto del cuerpo, esta comprimido lateralmente. La cabeza esta muy poco desarrollada. La cavidad paleal es la más espaciosa en comparación a otros moluscos; además de realizar el intercambio gaseoso las branquias generalmente han asumido la función de la recolección de alimento (Ruppert & Barnes, 1995).

#### **4.5 MOLUSCOS MARINOS COMESTIBLES DE EL SALVADOR**

En El Salvador los moluscos bivalvos representan una gran importancia en las comunidades costeras ya que poco a poco se fueron incorporando a la dieta del hombre y debido a esto su consumo fue aumentando así como su valor comercial; es por ello que la extracción de algunas especies constituye una fuente de ingreso para dichas comunidades. En nuestro país la extracción de algunas especies de moluscos se hace de forma artesanal, esto quiere decir que no existe comercialización a gran escala.

Existe una gran variedad de especies con importancia comestible entre las que podemos mencionar: *Anadara similis*, *A tuberculosa*, *A grandis*, *Donax dentifer*, *Modiolus capax*, *Mytella guayanensis*, *Crassostrea iridescens*, *Spondylus calcifer*, *Polymesoda inflata*, *Chione subrugosa*, *Strombus galeatus Swainson*, *Melongena patula*, y *Protothaca*

*asperrima*, donde algunos de estos moluscos se consumen crudos desconchados y otros ligeramente cocidos, acompañando algunas sopas o arroces (Barraza, 2006).

#### **4.6 Descripción de *Protothaca asperrima* (Sowerby, 1835)**

##### **4.6.1 Características Externas**

Su concha es grisácea- amarillenta o blancuzca en adultos, con una gran variedad de manchas cafés en los estadios juveniles, que la confunden en los sustrato donde se localiza. Sus valvas poseen costillas finas dándole un aspecto áspero. Concha subcircular o subovalada, generalmente de aspecto tosco, moderadamente convexa. Esculturada pero muy toscamente con radios. Los radios son esculturados y las costillas radiales tienden a disectarse de forma que se convierten en pares o tríos en el margen ventral (Cruz & Jiménez, 1994).

##### **4.6.2 Aspectos Biológicos**

Existen muy pocos estudios de campo acerca del género *Protothaca asperrima* en el trópico y áreas subtropicales. Entre algunos se encuentra el trabajo de Muñoz & Díaz (1984), en Playa Bique, Panamá, así como Palacios *et al.* (1986) en Guanacaste, Costa Rica. Así mismo (López *et al.*, 1996), estudió el ciclo reproductivo de dicha almeja en playa Bique Arraijan, Panamá.

Con respecto a la importancia alimenticia Marchena & De León (1995), determinaron el crecimiento mediante mediciones morfométricas de peso y talla, al mismo tiempo realizaron análisis bioquímicos de carbohidratos, proteínas y lípidos en tejido blando de la almeja. Así mismo ampliando su importancia alimenticia y que debido a su alta extracción

López *et al.* (1996) señalaron que *P. asperrima* es una especie de reproducción continua y asincrónica con dos periodos de desove máximo en un año.

En El Salvador *P. asperrima* es conocida como “mionas” o “almejas de piedra”. Presenta importancia alimenticia y comercial; el consumo de estas almejas en la mayoría de ocasiones es deshidrata para sopas y arroces (Barraza, 2006).

#### **4.7 CONTAMINACIÓN EN ECOSISTEMAS ESTUARINOS**

Yañes-Arancibia (1986) define estuario como un cuerpo de agua costero semicerrado con una conexión libre con el mar y dentro del cual el agua del mar se diluye significativamente con el agua dulce que proviene del drenaje terrestre. También los ecosistemas estuarinos son ambientes costeros que están sujetos a procesos continuos de contaminación ya que reciben aguas servidas, debido al aumento de la población a nivel mundial y al incremento en la demanda de los recursos marinos para usos turísticos (McFeters *et al.*, 1993; PNUMA, 2003).

Así mismo Salazar-Vallejo (1991) menciona que muchos de los ecosistemas estuarinos poseen una gran importancia debido a sus usos recreativos así como a la extracción de moluscos o pesca artesanal. Debido a ello es de suma importancia saber la calidad sanitaria de dichos ecosistemas. Y al mismo tiempo darle un uso más eficiente con el fin de optimizar los recursos con los cuales el hombre es beneficiado siendo en este caso los moluscos bivalvos los cuales al ser extraídos de un ecosistema altamente contaminado pueden crear impactos negativos a la salud humana.

Es por ello que las normas de calidad de agua establecidas por el Programa de Sanidad Nacional de Mariscos de los Estados Unidos de América con sus siglas en inglés (NSSP) son pretendidas para asegurar que moluscos comestibles principalmente almejas, ostras y mejillones, sean seguros para el consumo humano. Esta norma es aplicada a estos tipos de organismos ya que estos mariscos tienden a concentrar partículas circundantes en el agua y así mismo pueden servir como vectores de agentes patógenos bacterianos, siempre y cuando dichas aguas estén contaminadas con estos agentes patógenos (Gerba *et al.*, 1979).

#### **4.8 BIOMONITORIZACIÓN**

El monitoreo ambiental se ha convertido en una necesidad de primera línea en la gestión ambiental. El monitoreo es la observación repetitiva de los fenómenos dentro de un marco predefinido de tiempo y espacio. El monitoreo biológico o biomonitoreo aborda las variables bióticas y se complementa lo más posible con el monitoreo abiótico básico para una mejor comprensión de los procesos (Alcolado, 1994). El monitoreo biológico o biomonitoreo ha sido introducido en varios países como una útil adición al monitoreo físico-químico en el control de la calidad del agua y de otros problemas acuáticos. Este incluye, por ejemplo, el muestreo de la composición en especies de un ecosistema acuático para determinar su estado y, por extensión, la severidad de la contaminación (Hisgen, 1992).

Las zonas costeras, son perturbadas frecuentemente por residuos, tanto orgánicos como inorgánicos asociados a las actividades industriales y urbanas que se desarrollan en su entorno. Esto afecta significativamente la distribución, abundancia y composición de dichos compuestos en estas áreas (Carballeira *et al.*, 1997). Lo anterior ha generado la realización de numerosos estudios con el fin de evaluar el efecto de los compuestos

eliminados por actividades antropogénicas, principalmente determinando su concentración en el agua, sedimentos y organismos. Así mismo el empleo de bioindicadores está enfocado no sólo para medir la salud del ecosistema acuático, sino también para determinar el impacto potencial al ámbito humano. Debido a que frecuentemente se usan macroinvertebrados (moluscos y crustáceos) como bioindicadores y que a su vez estos son utilizados como alimento humano por su fácil colecta y sabor (De la Lanza *et al.*, 2000).

En este contexto, los bivalvos han sido ampliamente utilizados como indicadores de contaminación de sistemas costeros, tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos (Salazar-Vallejo 1991), ya que por su carácter de organismos sésiles están permanentemente expuestos a los efectos de estas sustancias, por lo que han sido utilizados como biomonitores (Rainbow, 1985).

De igual forma Salazar-Vallejo (1991) propuso la utilización de organismos como especies indicadoras o biomonitores para realizar estudios sobre ecología de la contaminación, lo mismo que para evaluar el estado del ambiente de un sitio costero, debido a enfoques de experiencias metodológicas en estudios de contaminación marina.

Así mismo Ron & Younger (2003), clasifican a las áreas costeras de extracción de moluscos bivalvos con importancia económica (ostras, almejas y mejillones) según el grado de contaminación por material fecal, determinados por niveles de bacterias coliformes fecales, en moluscos utilizados como indicadores.

Estudios realizados por Bonadonna *et al.*, (1990), en el cual sugirió el uso de bivalvos como estrategia innovadora de monitoreo de contaminación, para la identificación de

agentes patógenos y/o indicadores de contaminación por descargas humanas. El mismo autor utilizó moluscos como indicadores de contaminación por materia fecal en el estudio que se realizó a lo largo de la costa italiana utilizando como especies indicadoras a *Chamelea gallina*, *Mytilus galloprovincialis*, *Donax trunculus*, *Ensis siliqua*.

Así mismo, Freire *et al.*, (2003), utilizaron bivalvos de consumo humano como bioindicadores como un sistema de detección temprana de mareas rojas para la toma de decisiones sobre una apertura o cierre de explotaciones de mejillón y marisqueo de bivalvos, en las zonas costeras de Galicia, España constituyéndose hoy en día una herramienta básica para dicha gestión en sectores de cosecha de mariscos. De igual forma, el Instituto Francés del Mar (2002), mantuvo una extensa red de biomonitorización del medio marino a lo largo de toda la costa atlántica y mediterránea francesa. Esta red realizaba evaluaciones de los niveles de los contaminantes más habituales en zonas costeras; utilizando dos organismos como bioindicadores o biomonitores, como lo son la ostra y el mejillón.

En Costa Rica, Herrero *et al.*, (1999) utilizaron a *Anadara tuberculosa*, como bioindicador de contaminación por bacterias coliformes fecales, en el Golfo de Nicoya. En nuestro país se han realizados estudios de monitoreos de contaminación por materia fecal así como de metales donde se utilizaron especies de moluscos como a *A. similis*, *A. tuberculosa*, *Crassostrea iridescens*, *Mytella guyanensis* (Barraza & Carballeira, 1998; Barraza, 2000; Azucena & López, 2005; Melara, 2006).

## **V. METODOLOGÍA**

### **5.1 UBICACIÓN DEL AREA ESTUDIO**

El trabajo de investigación se realizó en ecosistemas estuarinos ubicados en la zona costera oriental del país: Puerto El Triunfo y Puerto Parada de la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután; Estero El Tamarindo y Bahía La Unión, departamento de la Unión. Los sitios de muestreo fueron georreferenciados por el sistema de posicionamiento global (GPS) Garmin Tres Summit.

#### **5.1.1 BAHÍA DE JIQUILISCO**

La Bahía de Jiquilisco es el estuario de mayor tamaño que presenta la costa salvadoreña, con gran importancia económica y ecológica ya que constituye el hábitat de numerosas especies de alto valor comercial (Sagastizado, 1995). El territorio de la bahía de Jiquilisco pertenece al departamento de Usulután y se describe política y administrativamente a los municipios de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, Usulután, San Dionisio, Concepción Batres y Jucuarán, los cuales pertenecen al mismo departamento. La bahía de Jiquilisco se encuentra ubicada en la región oriental de El Salvador, comprende a las cuencas hidrográficas de bajo Lempa, El Espino, El Potrero, Nanachepa, Aguacayo, El Cacao, El Quebrado, La Poza, Grande de San Miguel, El Convento, La Ringlera, Seca y Mungía. La pesca artesanal se basa en la extracción de curiles, camarones cangrejos, peces, etc. (MARN, 2004).

##### **5.1.1.1 PUERTO EL TRIUNFO**

El municipio de Puerto El Triunfo, está ubicado a 107 kilómetros de San Salvador, en el Departamento de Usulután, posee una extensión territorial de 169.00 kms<sup>2</sup> y cuenta con

17,292 habitantes, de los cuales 48% es población rural y el 52% población urbana. La cabecera municipal lleva el mismo nombre y se ubica a 4 msnm y 14 km al suroeste de la ciudad de Usulután.

### **Sitio de Muestreo**

El lugar donde fueron extraídos los ejemplares de *P. asperrima* es conocido como Puerto Atarraya. La zona de muestreo presenta las coordenadas siguientes: 13.26689° N, 88.55039° W. Lugar constituido por un banco de fango intermareal con rocas dispersas. El asentamiento alejado más cercano a la zona de extracción es conocido como barrio “La Playa” el cual está ubicado a 100 m de distancia, donde habitan aproximadamente 200 personas.



Figura 1. Sitio de muestreo correspondiente a Puerto El Triunfo durante el periodo Noviembre - Diciembre 2006.

#### **5.1.1.2 PUERTO PARADA**

Pertenece al departamento y municipio de Usulután, cuenta con aproximadamente 10,789 habitantes, con una elevación máxima de 10 msnm. Colinda al Oeste con el municipio de San Dionisio, al este con Jucuarán y al norte con Usulután.

### Sitio de Muestreo

La extracción de almejas se realizó en el muelle artesanal con las coordenadas siguientes: 13.24870° N, 88.43998° W. Esta zona está constituida por fango y rocas intermareales.

El otro sitio de muestreo de esta zona se conoce como “Vuelta Redonda” (13.24131° N, 88.44546° W), se encuentra a 1370 m en línea recta de la zona del muelle. Se caracteriza por fango intermareal asociado al bosque de manglar.



Figura 2. Sitio de muestreo correspondiente a Puerto Parada durante el periodo de Noviembre - Diciembre 2006.

### 5.1.2 ESTERO EL TAMARINDO

El estero El Tamarindo se ubica en el municipio de Conchagua, departamento de La Unión al oeste del Golfo de Fonseca y al sur del Departamento de La Unión. Presenta una extensión de aproximadamente 500 ha y vegetación representativa de bosques salados, entre las que destacan: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*.

La topografía del lugar es uniforme, en presencia de bajamar se observa una gran proporción de piso anfíbio, el arrastre de las olas es bastante atenuado, la principal fuente de acceso de aguas continentales es a través del río “Managuara”, aledañas al manglar donde existen zonas dedicadas a la explotación de la sal. Las comunidades locales se dedican a actividades asociadas a la pesca artesanal, el turismo, ganadería y agricultura. En

esta área desde algunos años atrás instituciones gubernamentales y locales han implementado proyectos para proporcionar a la comunidad un sistema integrado de conducción y tratamiento de aguas negras y residuales para el beneficio de aproximadamente 3000 habitantes del lugar.

### **Sitio de muestreo**

La zona de muestreo es conocido como “Tamarindo La Punta”. Y el lugar donde fueron extraídos los ejemplares de *P. asperrima* presentó las coordenadas siguientes: 13.19935° N, 87.91365° W. Dicha zona intermareal esta constituida por bancos intermareales de fango arenoso con piedras y restos de conchas. El asentamiento aledaño es conocido con el mismo nombre y se encuentra a 3 m de la zona de muestreo.



Figura 3. Sitio de muestreo correspondiente al Estero El Tamarindo durante el periodo de Noviembre -Diciembre 2006.

### **5.1.3 BAHÍA LA UNIÓN**

Pertenece al Departamento de La Unión el cual cuenta con extensión territorial de 2,074.34 Km<sup>2</sup>, con una población de 35000 habitantes, incluye a los municipios de La Unión, Conchagua, San Alejo y Pasaquina. Constituye un importante complejo de humedales marinos y estuarinos. En la parte marina destaca la mayor concentración de bajos lodosos y

arenosos del país, cubriendo éstos prácticamente la totalidad de las aguas de este cuerpo de agua. En la parte estuarina destacan los manglares, siendo éstos los terceros en extensión de El Salvador, aunque forman parte de un conjunto ecológico y social trinacional que constituye una de las mayores extensiones de bosques de este tipo encontradas en Centroamérica. Varias comunidades viven dentro o junto al manglar dedicándose al marisqueo de bivalvos y cangrejos así como a la pesca. Alrededor del manglar prosperan las salineras y camaroneras, muchas veces a expensas de disminuir la superficie original de este hábitat, y algunas áreas de pantanos herbáceos y carrizales o tulares.

### **Sitio de Muestreo**

La recolecta de bivalvos se realizó en un banco de fango intermareal  $13.33969^{\circ}$  N,  $87.83441^{\circ}$  W, aledaño al barrio “La Rábida”. El asentamiento aledaño más cercano a la zona de extracción es conocido con el mismo nombre y esta ubicado a 5 m de distancia.



Figura 4. Sitio de muestreo correspondiente a Bahía La Unión durante el periodo Noviembre - diciembre 2006.

## 5.2 METODOLOGÍA DE CAMPO

El estudio se realizó en dos fases: una fase de campo y otra de laboratorio. La fase de campo comprendió de cuatro campañas de muestreo las cuales fueron divididas en ocho recolectas, y un viaje previo de reconocimiento, que se realizaron en el período que comprendió los meses de Noviembre a Diciembre del 2006.

Para la realización de los muestreos se realizaron dos viajes por semana, comprendiendo una recolecta en Puerto El triunfo y Puerto Parada, y otra Bahía La Unión y El Tamarindo (Cuadro 1). En cada estación de muestreo se procedió a la recolecta de muestras, las cuales fueron al azar y en duplicado. Cada muestra simple consistió en un número aproximado de entre 20 a 25 individuos de *P. asperrima* para obtener un peso de aproximadamente 100 g de tejido blando. De igual forma se tomaron dos muestras de aguas superficiales en envases estériles de plástico con capacidad para un litro, uno por cada estación. El número de muestras cumple con lo recomendado por la Agencia de Estándares de Alimentos de Escocia (2003)<sup>1</sup>, que establece un número mínimo de 6 muestras por lugar de recolecta en un periodo de 30 días.

Cuadro 1. Fechas y lugares de recolecta registrados durante la campaña de muestreos en Puerto El triunfo, Puerto Parada, El Tamarindo y Bahía La Unión Noviembre - Diciembre 2006.

Nº de MUESTREO	FECHA	SITIO
1	21,23/Nov/06	Puerto El Triunfo
		Puerto Parada
		El Tamarindo
		Bahía La Unión
2	27, 30/Nov/06	Puerto El Triunfo
		Puerto Parada
		El Tamarindo
		Bahía La Unión
3	05,07/Dic/06	Puerto El Triunfo
		Puerto Parada
		El Tamarindo
		Bahía La Unión
4	18,19/Dic/06	Puerto El Triunfo
		Puerto Parada
		El Tamarindo
		Bahía La Unión

<sup>1</sup> [http://www.ecoinfo.ec.gac.gov.ec/env\\_ind/region/shellfish/shellfish\\_e.cfm](http://www.ecoinfo.ec.gac.gov.ec/env_ind/region/shellfish/shellfish_e.cfm)

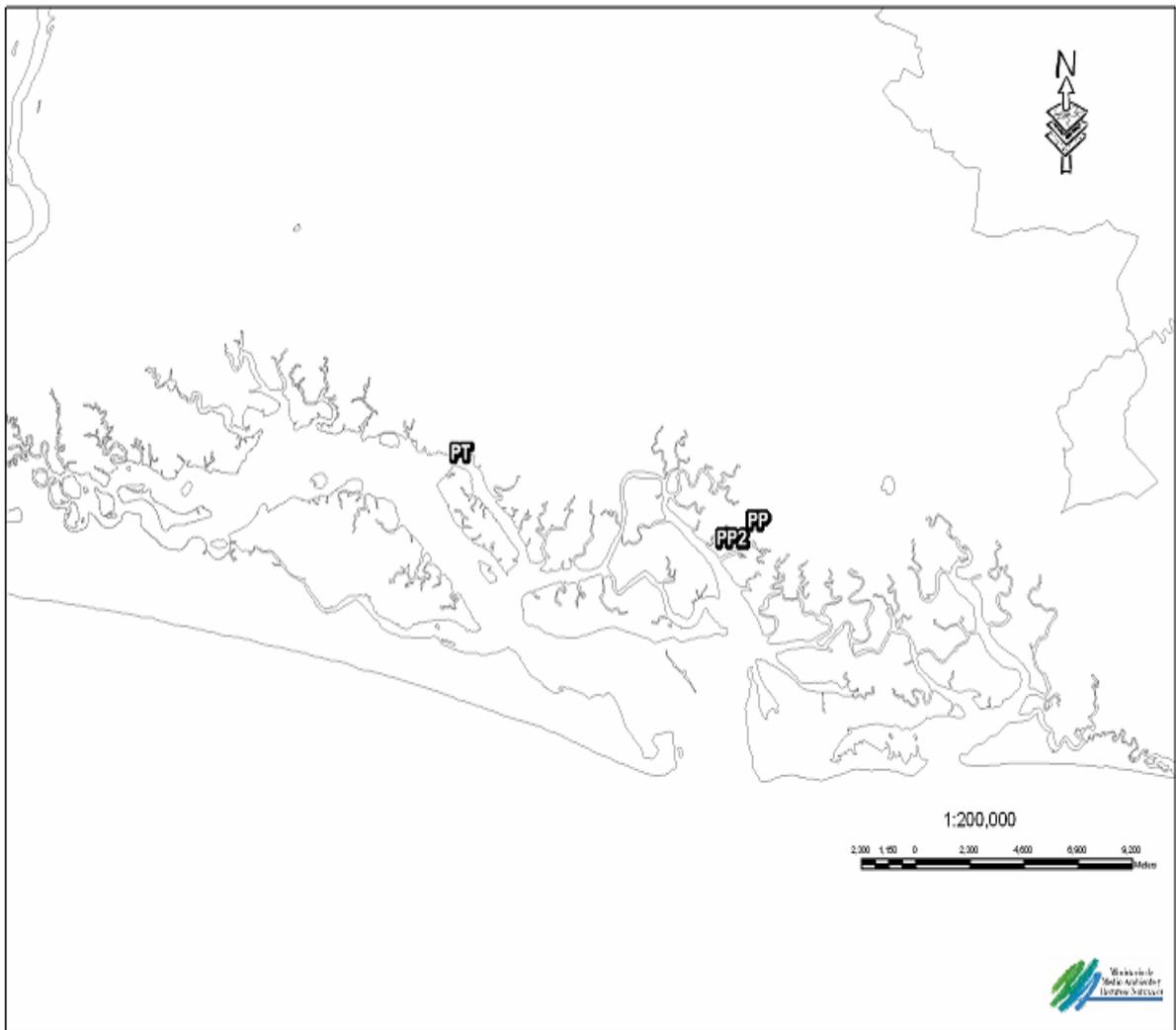


Figura 5. Ubicación de las estaciones de muestreo en Bahía de Jiquilisco. PT: Puerto El Triunfo, PP: Puerto Parada

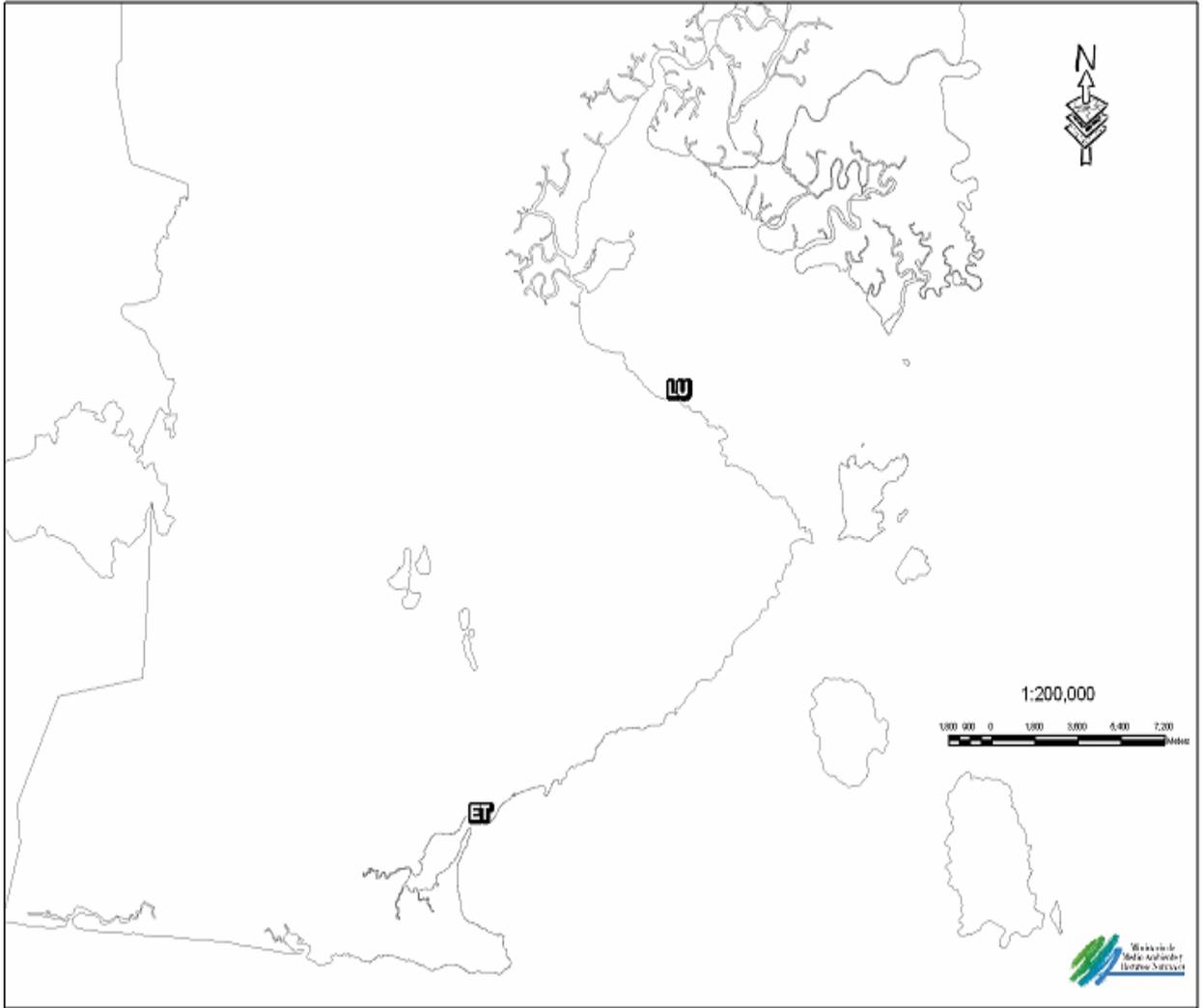


Figura 6. Ubicación de las estaciones de muestreo en el Departamento de La Unión. LU: Bahía La Unión, ET: Estero El Tamarindo

### 5.2.1 Extracción y Procesamiento de Muestras de Almeja.

La extracción del tejido blando de *Protothaca asperrima* se realizó en las instalaciones del MARN en Puerto Parada y La Unión. Tomando en cuenta como primer paso el lavado de muestras con detergente biodegradable (Alconox). Luego se les duchó rápidamente con hipoclorito de sodio (10%), inmediatamente se lavaron con agua potable, para proceder finalmente a la apertura de la almeja con un escarpelo. El tejido blando fue extraído con pinzas previamente esterilizadas con hipoclorito de sodio (10%) y lavadas con agua estéril. Se debe aclarar que este lavado de equipo de disección se realizó cada vez que se extrae tejido blando de un individuo, para evitar contaminación de las siguientes muestras. Se depositaron 100 g de tejido blando y jugos de *Protothaca asperrima* en bolsas plásticas esterilizadas (Whirlpak NASCO). Posteriormente fueron etiquetadas y colocadas en una hielera a una temperatura de (4 °C) para su transporte al laboratorio de Calidad Integral de la Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES).



Figura 7. *Protothaca asperrima* (Sowerby, 1835).

La extracción de tejido blando de la almeja en Puerto El Triunfo y Puerto Parada, se realizó en las instalaciones del MARN/Puerto Parada. En el caso de las muestras recolectadas en la Bahía de La Unión y el Estero El Tamarindo, la extracción se realizó en la oficina del MARN en el Departamento de La Unión.

### **5.2.2 Procesamiento de las Muestras de Agua Estuarina.**

Para la realización de la toma de muestra de agua se tomaron dos muestras de agua superficial cada ecosistema estuarino en frascos de plástico esterilizados, con capacidad para 1 litro. Posteriormente los frascos se depositaron en una hielera (4 °C) para transportarlos al Laboratorio de Calidad Integral de la Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES) el mismo día de la recolecta. También se midió la salinidad del agua superficial en las zonas de muestreo mediante un refractómetro ATAGO S/MILL-E.

## **5.3 METODOLOGÍA DE LABORATORIO**

### **5.3.1 Análisis bacteriológico de tejido blando de *Protothaca asperrima*.**

Para el análisis bacteriológico, se utilizó tejido blando de la almeja en estudio, según la metodología propuesta por Feng *et al.* (1998), recomendada por la Administración de Alimentos y Medicina de los Estados Unidos de América (FDA). Para cuantificar los coliformes fecales se utilizó el método convencional del número más probable (NMP/g), mediante la fermentación de caldo Lauril Sulfato (LST) en 3 series de 3 tubos.

En primer lugar para el procesamiento de las muestras se obtuvieron 25 g de líquido y carne del bivalvo, a lo cual se le agregó 225 ml de agua peptonada (0.1%). Mezcla que fue homogenizada en aparato Stomacher por 2 minutos, el cual presiona rápidamente el tejido blando contenido en bolsa plástica, para obtener una muestra uniforme. A continuación, con este homogenizado se procedió a la preparación de tres diluciones: la solución matriz fue colocada en un matraz, a la cual se le agregó 90 ml de agua peptonada, la segunda dilución fue preparada utilizando 10 ml de la dilución matriz y 90 ml de agua peptonada de la concentración antes mencionada, para la tercera dilución se tomaron 10 ml de la segunda

dilución y se agregó 90 ml de agua peptonada de igual concentración. Posteriormente se prepararon tres series de tres tubos, cada tubo contenía 9 ml de caldo Lauril Sulfato (LST). Luego con una pipeta volumétrica se midió 1 ml de la dilución matriz, la cual se agregó a la primera serie de tubos, de la segunda dilución se tomó 1 ml y se colocó en la segunda serie de tubos, de la misma manera fue medido el mismo volumen de la tercera dilución y fue depositado en la tercera serie de tubos.

Estos tubos fueron colocados en incubación a 35<sup>0</sup> C por 48 horas, donde la formación de gas y turbidez en el líquido indicó la prueba positiva (Barraza & Vásquez, 1988). Al final del período y una vez identificado los tubos positivos se extrajo una muestra de ellos utilizando una asa estéril, luego haciendo uso de la misma se inoculó una segunda serie de tres tubos conteniendo 9 ml de caldo EC, estos tubos fueron incubados a una temperatura de 44.5 <sup>0</sup>C por 24-48 horas. Finalmente se calculó el NMP según el número de tubos que resultaron positivos (producción de gas y turbidez) con respecto a la Tabla de determinación del NMP/g (Anexo 1). Se debe considerar que el valor de 230 NMP/100g proviene de una prueba de 5 tubos de fermentación (Feng *et al.*, 1998), y la que se utilizó en el presente estudio, utiliza 3 tubos de fermentación, por lo que no se pueden detectar valores menores de 3 NMP/g.

### **5.3.2 Análisis bacteriológico de agua estuarina.**

Las muestras de agua superficial extraídas de los sitios anteriormente mencionados fueron procesadas de acuerdo a la técnica de “fermentación de tubos múltiples” que comprende análisis cualitativo y cuantitativo.

Para este análisis se prepararon cuatro series de cinco tubos conteniendo caldo lauril sulfato (LST) 24 a 48 horas a una temperatura de 35 ± 1°C. De cada tubo de fermentación primaria con resultados positivos (turbidez y producción de gas) se tomaron muestras con

asa estéril y se inocularon tubos de fermentación con caldo EC y se incubaron por 24 horas a una temperatura  $44.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ . El cálculo del NMP/100 ml se determinó en base al número de tubos positivos (Anexo 2) se determinó mediante la metodología recomendada por APHA, AWWA, WPCF (1980).

#### **5.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los datos obtenidos se agruparon por orden cronológico. Se calcularon los estadísticos descriptivos como: promedio, moda, mediana, media geométrica así como desviación estándar. A los valores obtenidos de Coliformes Fecales (CF) en tejido blando de *P. asperrima* y agua estuarina se les aplicó una transformación logarítmica ( $\text{Log}(\text{NMP}+1)$ ) la cual ayudó a establecer rangos más cercanos entre dichos niveles ya que no presentaron una distribución normal. Para una mejor interpretación los valores  $<3$  NMP/g será considerado como 2 NMP/g y los valores  $>1100$  NMP/g serán considerados como 1101 NMP/g. Basados en otros estudios sobre coliformes fecales (Selegan *et al.*, 2001), se consideró el uso de la media geométrica sugerida por Bortman (1999), como un estadístico ideal para valores con distribuciones asimétricas.

Para calcular la intensidad de la relación matemática entre niveles de coliformes en tejido blando de *P. asperrima* y distancia (en metros) a asentamientos humanos importantes se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. Para ello se consideró la distancia en mención como abscisa y el valor de coliformes como ordenada. El mismo coeficiente se utilizó para determinar la intensidad de la relación entre valores de CF en agua y valores de CF en la almeja (Reyes-Castañeda, 1980).

Posteriormente, mediante el programa estadístico Stats Direct (2006) se determinó la homogeneidad de las varianzas de los datos obtenidos mediante la prueba de Levene (web 1). Una vez comprobada dicha homogeneidad, se procedió a comparar los diferentes lugares en estudio mediante análisis de la varianza (ANAVA) de un solo factor (Ott, 1988).

## VI. RESULTADOS

Se muestran los valores de salinidad observados (Cuadro 2), así como de bacterias coliformes fecales (NMP/g+1) (Cuadro 3) obtenidos en tejido blando de la almeja y como agua estuarina (Cuadro 4).

### 6.1 SALINIDAD

La salinidad tuvo una variación mínima entre el periodo y los diferentes sitios de muestreo. Tomando en cuenta que el valor mínimo obtenido fue de 22 unidades prácticas de salinidad (ups) y el máximo 28 (cuadro 1).

Cuadro 2. Salinidad, Promedios (ups) de los cuatro sitios de muestreo durante el periodo de Noviembre - Diciembre 2006. PT: Puerto El Triunfo, PP: Puerto Parada, ET: El Tamarindo, LU: La Unión.

SITIOS	Salinidad (ups)				
	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
Puerto El Triunfo PT	23	24	25	27	24.7
Puerto Parada PP	22	23	25	28	24.5
El Tamarindo ET	27	27	25	25	26.0
Bahía La Unión LU	24	25	23	25	24.2

## 6.2 COLIFORMES FECALES (CF) EN TEJIDO BLANDO DE *P. asperrima*.

Durante el periodo de estudio se recolectaron un número aproximado de cincuenta ejemplares de *P. asperrima* por sitio de muestreo, para obtener dos muestras de tejido blando de 100g cada muestra. Al final del periodo se recolectaron un total de 200 ejemplares por cada sitio de muestreo. Los valores de coliformes fecales obtenidos oscilaron entre 2 a 1100 NMP/g (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de CF en *P. asperrima* para los cuatro sitios de muestreo con distancia de los lugares de recolecta a los asentamientos humanos, en el periodo de Noviembre - Diciembre 2006.

CAMPAÑA	ESTACIONES	NMP/g	Log(NMP+1)	Distancia (m)	Log (Distancia+1)
Primero	PT1	23	1.38	100	2.0043
	PT2	9	1.00	100	2.0043
	PP1	93	1.97	3	0.6021
	PP2	150	2.17	3	0.6021
	ET1	150	2.17	3	0.6021
	ET2	15	1.20	3	0.6021
	LU1	93	1.97	5	0.7781
	LU2	15	1.20	5	0.7781
Segundo	PT1	9	1.00	100	2.0043
	PT2	2	0.48	100	2.0043
	PP1	15	1.20	1370	3.1370
	PP2	2	0.48	1370	3.1370
	ET1	43	1.64	3	0.6021
	ET2	43	1.64	3	0.6021
	LU1	240	2.38	5	0.7781
	LU2	150	2.17	5	0.7781
Tercero	PT1	43	1.64	100	2.0043
	PT2	93	1.97	100	2.0043
	PP1	93	1.97	3	0.6021
	PP2	1,101	3.04	3	0.6021
	ET1	1,101	3.04	3	0.6021
	ET2	1,101	3.04	3	0.6021
	LU1	460	2.66	25	1.4150
	LU2	1,101	3.04	25	1.4150
Cuarto	PT1	240	2.38	100	2.0043
	PT2	43	1.64	100	2.0043
	PP1	15	1.20	3	0.6021
	PP2	240	2.38	3	0.6021
	ET1	460	2.66	3	0.6021
	ET2	1,101	3.04	3	0.6021
	LU1	150	2.17	25	1.4150
	LU2	1,101	3.04	25	1.4150

La recopilación de datos ordenó con la utilización de estadísticos descriptivos de tendencia central, demostrando que la media geométrica más alta de niveles de CF en tejido blando de *P. asperrima* los presenta Bahía La Unión (212.7 NMP/g) caso contrario sucede con Puerto El Triunfo (26.3 NMP/g) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estadísticos de tendencia central y dispersión determinados para los niveles de NMP/g en tejido blando de *Protothaca asperrima*.

SITIOS	PROMEDIOS	DESVIACION ESTÁNDAR	MEDIANA	MODA	MEDIA GEOMETRICA
Puerto El Triunfo	57.9	79.1	23.0	43.0	26.3
Puerto Parada	213.6	367.0	48.0	93.0	62.4
El Tamarindo	501.4	515.1	571.5	1100.0	199.9
Bahía La Unión	413.5	443.2	305.0	1100.0	212.7

Así mismo la utilización de la media geométrica y añadiendo la desviación estándar; a continuación se presentan las graficas de niveles de CF en tejido blando de *P. asperrima* para los cuatro sitios de muestreo. En Puerto El Triunfo, el nivel mas bajo de coliformes fecales en *P. asperrima* ocurrieron en el 2° muestreo (4.24 NMP/g). En cambio, el nivel más alto se presentó en el 4° muestreo (101.6 NMP/g) reflejado en el gráfico (Figura 8). Los estadísticos de tendencia central calculados para esta zona de estudio se encuentran en Anexo 3.

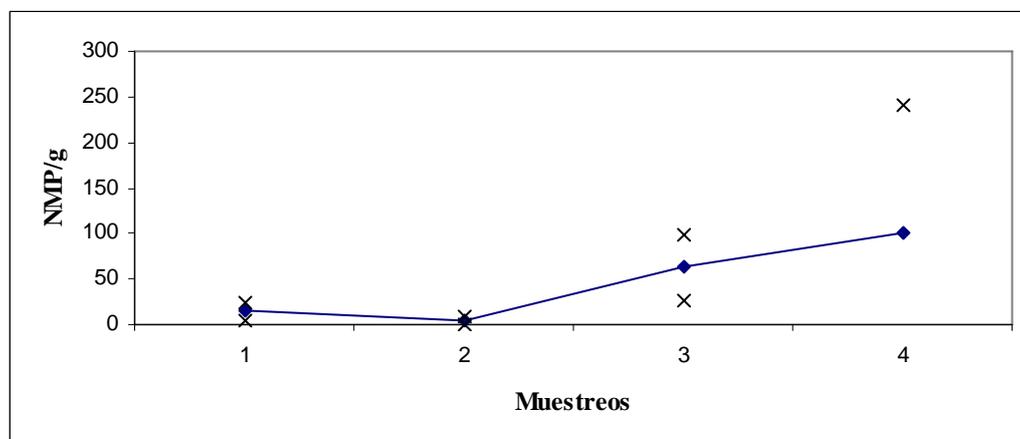


Figura 8. Media geométrica de CF en *P. asperrima* y desviación estándar para Puerto El Triunfo (Noviembre – Diciembre 2006).

En Puerto Parada, el nivel mas bajo de coliformes fecales en *P. asperrima* ocurrió en el 2° muestreo (5.48 NMP/g). En cambio, el nivel más alto se presentó en el 3er muestreo (319.8NMP/g) reflejado la Figura 9.

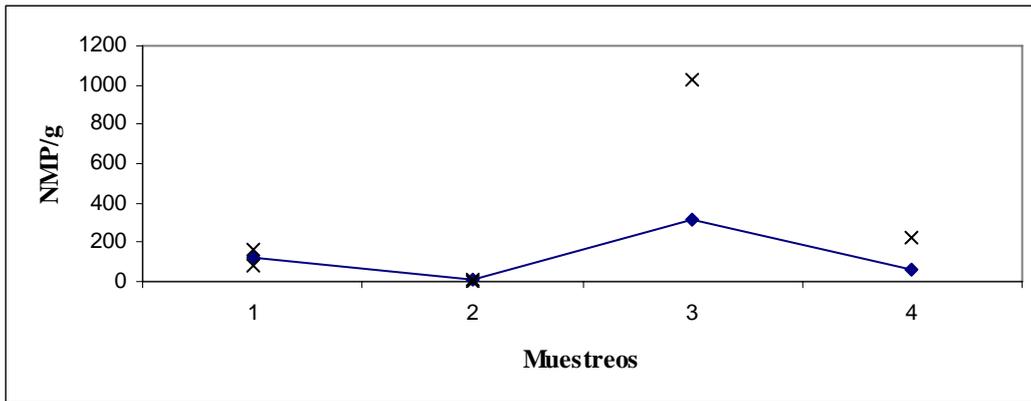


Figura 9. Media geométrica de CF en *P. asperrima* y desviación estándar para Puerto Parada (Noviembre – Diciembre 2006).

Para el Estero El Tamarindo, el nivel mínimo de coliformes fecales en *P. asperrima* ocurrió en el 2° muestreo (43.0 NMP/g). En cambio, el nivel máximo se presentó en el 3er muestreo (1100.0NMP/g), ilustrado en la Figura 10.



Figura 10. Media geométrica de CF en *P. asperrima* y desviación estándar para El Tamarindo (Noviembre – Diciembre 2006).

En el caso de Bahía La Unión, el menor nivel de coliformes fecales en *P. asperima* ocurrió en el 1er muestreo (37.4 NMP/g). En cambio, el nivel más elevado se presentó en el 3er muestreo (711.3 NMP/g), como se puede observar en la Figura 11.



Figura 11. Media geométrica de CF en *P. asperima* y desviación estándar para La Unión (Noviembre – Diciembre 2006).

### 6.3 COLIFORMES FECALES (CF) EN AGUA ESTUARINA

Durante el periodo de estudio se recolectaron dos muestras de agua estuarina de cada sitio de muestreo complementando un total de treinta dos muestras de agua, ocho por cada sitio.

Los valores de coliformes fecales obtenidos oscilaron entre 2 a 110000 NMP/100 ml (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores de Coliformes Fecales en agua estuarina para los cuatro sitios de muestreo con distancia de los lugares de recolecta a los asentamientos humanos, en el período de Noviembre - Diciembre 2006.

MUESTREO	ESTACIONES	NMP/100 ml	Log (NMP+1)	Distancia (m)	Log (Distancia+1)
Primero	PT1	500	2.69	100	2.0043
	PT2	1,300	3.11	100	2.0043
	PP1	9,000	3.95	3	0.6021
	PP2	2,400	3.38	3	0.6021
	ET1	1,600	3.20	3	0.6021
	ET2	900	2.95	3	0.6021
	LU1	24,000	4.38	5	0.7781
	LU2	2,800	3.44	5	0.7781
Segundo	PT1	2,400	3.38	100	2.0043
	PT2	1,700	3.23	100	2.0043
	PP1	2	0.47	1370	3.1370
	PP2	8	0.95	1370	3.1370
	ET1	900	2.95	3	0.6021
	ET2	16,000	4.20	3	0.6021
	LU1	5,000	3.69	5	0.7781
	LU2	1,800	3.25	5	0.7781
Tercero	PT1	1,600	3.20	100	2.0043
	PT2	900	2.95	100	2.0043
	PP1	900	2.95	3	0.6021
	PP2	1,400	3.14	3	0.6021
	ET1	110,000	5.04	3	0.6021
	ET2	5,000	3.69	3	0.6021
	LU1	30,000	4.47	25	1.4150
	LU2	17,000	4.23	25	1.4150
Cuarto	PT1	800	2.90	100	2.0043
	PT2	900	2.95	100	2.0043
	PP1	1,700	3.23	3	0.6021
	PP2	1,300	3.11	3	0.6021
	ET1	3,000	3.47	3	0.6021
	ET2	2,400	3.38	3	0.6021
	LU1	30,000	4.47	25	1.4150
	LU2	50,000	4.69	25	1.4150

En el Cuadro 6 se muestran los estadísticos descriptivos de tendencia central para los niveles de CF en agua estuarina, demostrando que Bahía La Unión presentó la media geométrica mas alta de los cuatro sitios de muestreo; contrastando con la registrada por Puerto Parada (12110.4 y 419.7 NMP/100 ml respectivamente).

Cuadro 6. Estadísticos de tendencia central y dispersión determinados para los niveles de CF en agua estuarina.

SITIOS	PROMEDIOS	DESVIACION ESTÁNDAR	MEDIANA	MODA	MEDIA GEOMÉTRICA
Puerto El Triunfo	1262.5	616.3	1650.0	900.0	1134.8
Puerto Parada	2088.7	2908.3	454.0	0.0	419.7
El Tamarindo	17475.0	37315.0	63000.0	900.0	4114.4
Bahía La Unión	20075.0	16805.8	15900.0	30000.0	12110.4

Con la utilización de la media geométrica a continuación se presentan las graficas de niveles de CF en agua estuarina para los cuatro sitios de muestreo. En Puerto El Triunfo, el nivel mas bajo de coliformes fecales en agua estuarina ocurrieron en el 1er muestreo (806.2 NMP/100 ml). En cambio, el nivel más alto se presentó en el segundo muestreo (2019.9 NMP/100 ml), como lo indica la Figura 12. Además se debe señalar que los estadísticos de tendencia central calculados para esta zona de estudio se encuentran en Anexo 4.

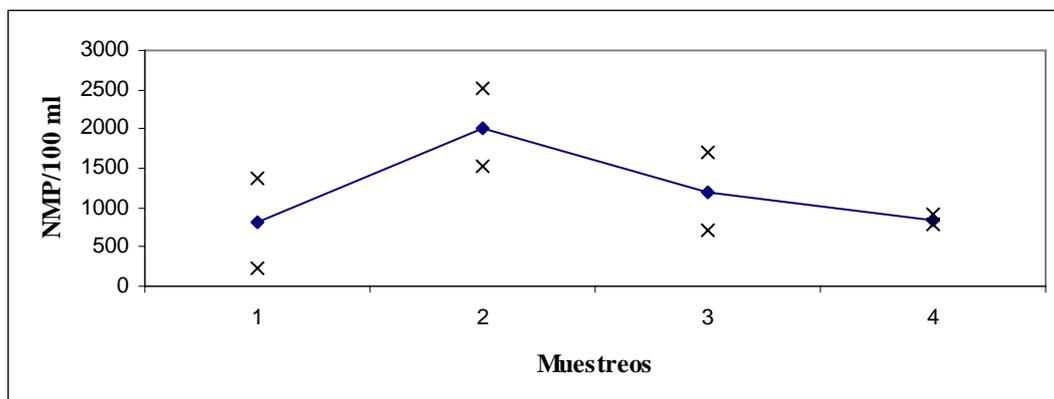


Figura 12. Media geométrica de los niveles de CF en agua estuarina y desviación estándar para Puerto El Triunfo (Noviembre – Diciembre 2006).

En Puerto Parada, el menor nivel de coliformes fecales en agua estuarina ocurrió en el 2º muestreo (4.0 NMP/100 ml). En cambio, el nivel más alto se presentó en el 1er muestreo (4647.6 NMP/100 ml), como se describe en la Figura 13.

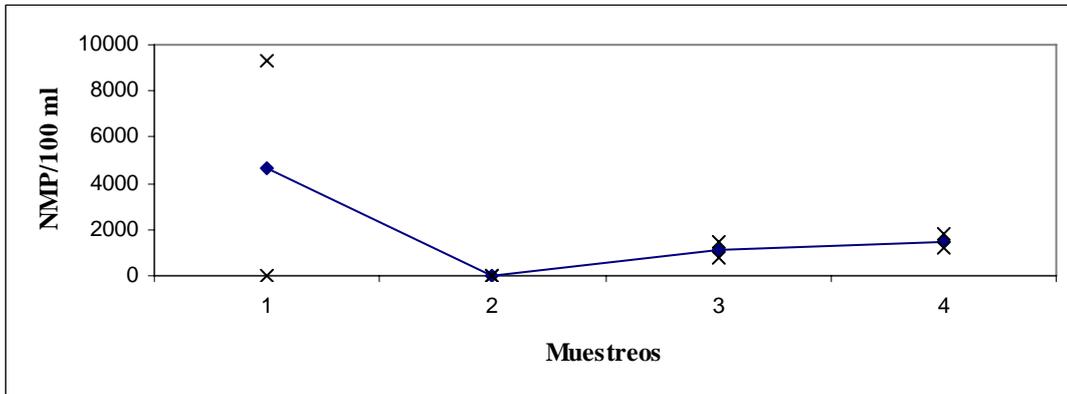


Figura 13. Media geométrica de los niveles de CF en agua estuarina y desviación estándar para Puerto Parada (Noviembre – Diciembre 2006).

Para el Estero El Tamarindo, el nivel mínimo de coliformes fecales en agua estuarina ocurrió en el 1er muestreo (1200.0 NMP/100 ml). El nivel máximo ocurrió en el 3er muestreo (23452.1 NMP/100 ml) reflejado en la Figura 14.

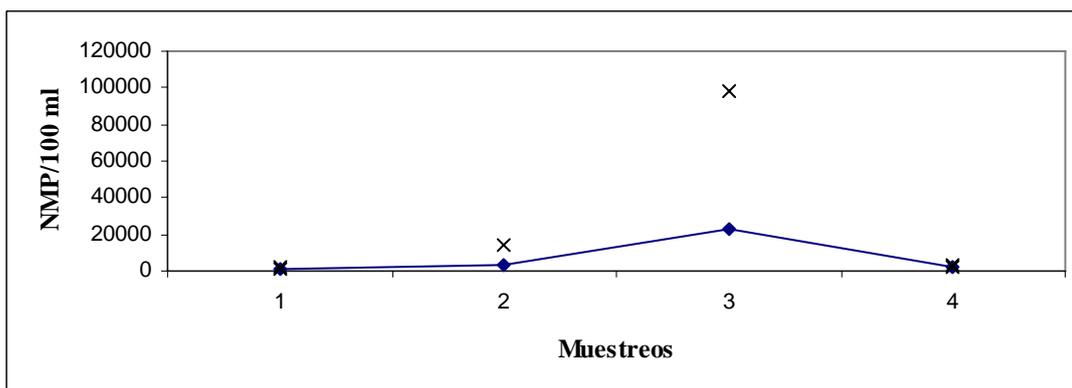


Figura 14. Media geométrica de los niveles de CF en agua estuarina y desviación estándar para El Tamarindo (Noviembre – Diciembre 2006).

La Figura 15 indica que en Bahía La Unión, el nivel mas bajo de coliformes fecales en agua estuarina ocurrió en el 2° muestreo (3000.0 NMP/100 ml). En cambio, el nivel más elevado se registró en el cuarto muestreo (38729.8 NMP/100 ml).

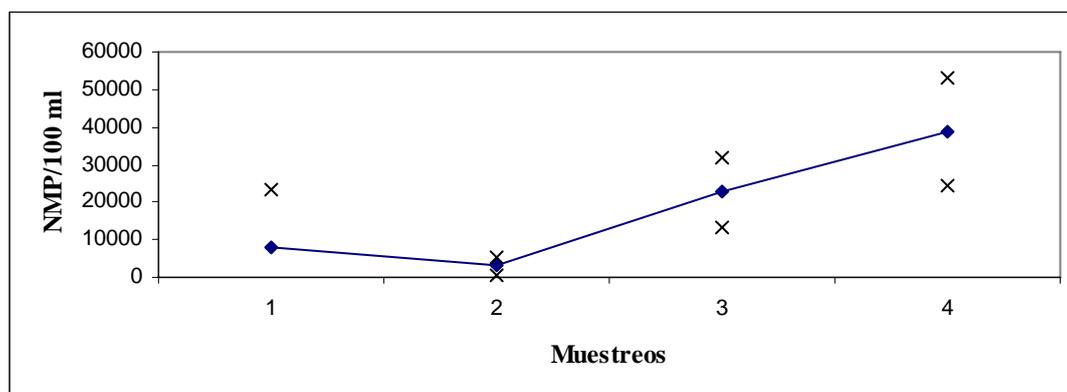


Figura 15. Media geométrica para los niveles de CF en agua estuarina y desviación estándar para La Unión (Noviembre – Diciembre 2006).

## 6.4 COMPARACIÓN ESTADÍSTICA

### 6.4.1 Homogeneidad de la varianza

El Cuadro 7 contiene datos que reflejan la prueba de homogeneidad aplicada a los niveles de CF en tejido blando de *P. asperrima*, así como en los niveles de CF en agua estuarina de los cuatro sitios de muestreo en el periodo de Noviembre – Diciembre 2006. Esta prueba determinó que todos los datos son homogéneos y pueden compararse mediante Análisis de la Varianza.

Cuadro 7. Prueba de homogeneidad de Levene aplicada a valores de CF en Tejido de almeja y agua estuarina comparando cada sitio de muestreo. F: valor calculado mediante ANAVA, P: Probabilidad del error, NS: No existe diferencia significativa en la comparación estadística ( $p > 0.05$ ).

Comparación	CF <i>P. asperrima</i>	CF agua estuarina
Puerto Parada / Puerto El Triunfo	F= 0.311205 Grados de Libertad= 1, 14 <b>P= 0.5858</b>	F= 2.567656 Grados de Libertad= 1, 14 <b>P= 0.1314</b>
Puerto Parada / Estero El Tamarindo	F= 0.103636 Grados de Libertad= 1,14 <b>P= 0.7523</b>	F= 0.482385 Grados de Libertad= 1,14 <b>P= 0.4987</b>
Puerto Parada / Bahía La Unión	F= 0.305185 Grados de Libertad= 1,14 <b>P= 0.05894</b>	F= 0.796173 Grados de Libertad= 1,14 <b>P= 0.3873</b>
Puerto El Triunfo / Estero El Tamarindo	F= 1.386856 Grados de Libertad= 1,14 <b>P= 0.2586</b>	F= 2.779691 Grados de Libertad= 1,14 <b>P= 0.1177</b>
Puerto El Triunfo / Bahía La Unión	F= 0.000837 Grados de Libertad= 1,14 <b>P= 0.9773</b>	F= 3.096664 Grados de Libertad= 1,14 <b>P= 0.1002</b>
Estero El Tamarindo / Bahía La Unión	F= 1.22434 Grados de Libertad= 1,14 <b>P= 0.2872</b>	F= 0.082364 Grados de Libertad= 1,14 <b>P= 0.7783</b>

### 6.4.2 Análisis de Varianza (ANOVA)

El Cuadro 8 nos indica que al comparar los niveles de CF/g en tejido blando de *P. asperima*, mediante el análisis de varianza de un solo factor, se determinó que en la mayoría de los casos no existe diferencia significativa con la excepción de las comparaciones PT/ET y PT/LU, donde se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 8. Análisis de varianza de un solo factor para comparar niveles de CF/g en Tejido blando de *P. asperima* entre los diferentes lugares de muestreo. SC: Suma de Cuadrados, GL: Grados de libertad, PC: Promedio de los cuadrados, F: Valor calculado, P: Probabilidad de error, FV: Mínimo valor para considerar que no hay diferencia significativas. \* Diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

<b>Puerto Parada / Puerto El Triunfo</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	0.5329	1	0.5329	1.13616514	0.30450214	4.60011051
Dentro de los grupos	6.566475	14	0.46903393			
Total	7.099375	15				
<b>Puerto Parada / Estero El Tamarindo</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	0.950625	1	0.950625	1.6436694	0.22064704	4.60010991
Dentro de los grupos	8.096975	14	0.57835536			
Total	9.0476	15				
<b>Puerto Parada / Bahía La Unión</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	1.050625	1	1.050625	2.16181955	0.16359199	4.60010991
Dentro de los grupos	6.803875	14	0.48599107			
Total	7.8545	15				
<b>Puerto El Triunfo / Estero El Tamarindo</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	2.907025	1	2.907025	6.55338934	0.02267503*	4.60010991
Dentro de los grupos	6.210275	14	0.44359107			
Total	9.1173	15				
<b>Puerto El Triunfo / Bahía la Unión</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	3.080025	1	3.080025	8.76933402	0.01031247*	4.60010991
Dentro de los grupos	4.917175	14	0.35122679			
Total	7.9972	15				
<b>Estero El Tamarindo / Bahía La Unión</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	0.0025	1	0.0025	0.00542831	0.94230967	4.60010991
Dentro de los grupos	6.447675	14	0.46054821			
Total	6.450175	15				

Comparando los niveles de CF/100ml en muestras de agua estuarina se determinó mediante el análisis mencionado anteriormente que en la mayoría de los casos no existen diferencias significativas con la excepción de PP/LU y PT/LU (Cuadro 9), casos en los que se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 9. Análisis de varianza de un solo factor para muestras de agua estuarina. SC: Suma de Cuadrados, GL: Grados de libertad, PC: Promedio de los cuadrados, F: Valor calculado, P: Probabilidad de error, FV: Mínimo valor para considerar que no hay diferencia significativas. \* Diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

<b>Puerto Parada / Puerto El Triunfo</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	0.65205625	1	0.65205625	0.82368685	0.37946157	4.60011051
Dentro de los grupos	11.0828375	14	0.79163125			
Total	11.7348938	15				
<b>Puerto Parada / Estero El Tamarindo</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	3.705625	1	3.705625	3.63945196	0.07715011	4.60010991
Dentro de los grupos	14.25455	14	1.01818214			
Total	17.960175	15				
<b>Puerto Parada / Bahía La Unión</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	8.1796	1	8.1796	8.95854553	0.00968336*	4.60010991
Dentro de los grupos	12.7827	14	0.91305			
Total	20.9623	15				
<b>Puerto El Triunfo / Estero El Tamarindo</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	1.24880625	1	1.24880625	4.54030287	0.05131765	4.60010991
Dentro de los grupos	3.8506875	14	0.27504911			
Total	5.09949375	15				
<b>Puerto El Triunfo / Bahía la Unión</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	4.21275625	1	4.21275625	24.7930292	0.00020215*	4.60010991
Dentro de los grupos	2.3788375	14	0.16991696			
Total	6.59159375	15				
<b>Estero El Tamarindo / Bahía La Unión</b>						
<b>Variaciones</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>FV</b>
Entre grupos	0.874225	1	0.874225	2.20503374	0.1597268	4.60010991
Dentro de los grupos	5.55055	14	0.39646786			
Total	6.424775	15				

### 6.4.3 Correlación.

En el Cuadro 10 se agrupan los valores de CF de almeja y los valores de CF de agua estuarinas, utilizados para determinar el valor de correlación de Person, ( $r = 0.562674109$ ,  $p < 0.01$   $gl = 30$ ) lo que indica una relación positiva y significativa entre ambas variables.

Cuadro 10. Valores de CF y su transformación logarítmica obtenidos de las muestras de agua estuarina y tejido blando de *P. asperrima*.

Muestreo	Sitio de Muestreo	CF agua estuarina	CF Almeja	Log(CF agua+1) "X"	Log (CF almeja+1) "Y"
1°	Puerto El Triunfo	500	23	2.69	1.38
	Puerto El Triunfo	13000	9	3.11	1
	Puerto Parada	9000	93	3.95	1.97
	Puerto Parada	2400	150	3.38	2.17
	El Tamarindo	1600	150	3.20	2.17
	El Tamarindo	900	15	2.95	1.20
	B. La Unión	24000	93	4.38	1.97
	B. La Unión	2800	15	3.44	1.20
2°	Puerto El Triunfo	2400	9	3.38	1
	Puerto El Triunfo	1700	2	3.23	0.48
	Puerto Parada	2	15	0.48	1.20
	Puerto Parada	8	2	0.95	0.48
	El Tamarindo	900	43	2.95	1.64
	El Tamarindo	16000	43	4.20	1.64
	B. La Unión	5000	240	3.69	2.38
	B. La Unión	1800	150	3.25	2.17
3°	Puerto El Triunfo	1600	43	3.20	1.64
	Puerto El Triunfo	900	93	2.95	1.97
	Puerto Parada	900	93	2.95	1.97
	Puerto Parada	1400	1101	3.14	3.04
	El Tamarindo	110000	1101	5.04	3.04
	El Tamarindo	5000	1101	3.69	3.04
	B. La Unión	30000	460	4.47	2.66
	B. La unión	17000	1101	4.23	3.04
4°	Puerto El Triunfo	800	240	2.90	2.38
	Puerto El Triunfo	900	43	2.95	1.64
	Puerto Parada	1700	15	3.23	1.20
	Puerto Parada	1300	240	3.11	2.38
	El Tamarindo	3000	460	3.47	2.66
	El Tamarindo	2400	1101	3.38	3.04
	B. La Unión	30000	150	4.47	2.17
	B. La Unión	50000	1101	4.69	3.04

La recta de regresión ( $\text{Log } Y = 0.46 + 0.40X$ ) indica una relación matemática lineal positiva entre las variables mencionadas donde “X” es  $\text{Log (NMP/100ml)}$  de agua estuarina y “Y” es  $\text{Log (NMP+1)}$  de *P. asperrima* agua estuarina (Fig. 16).

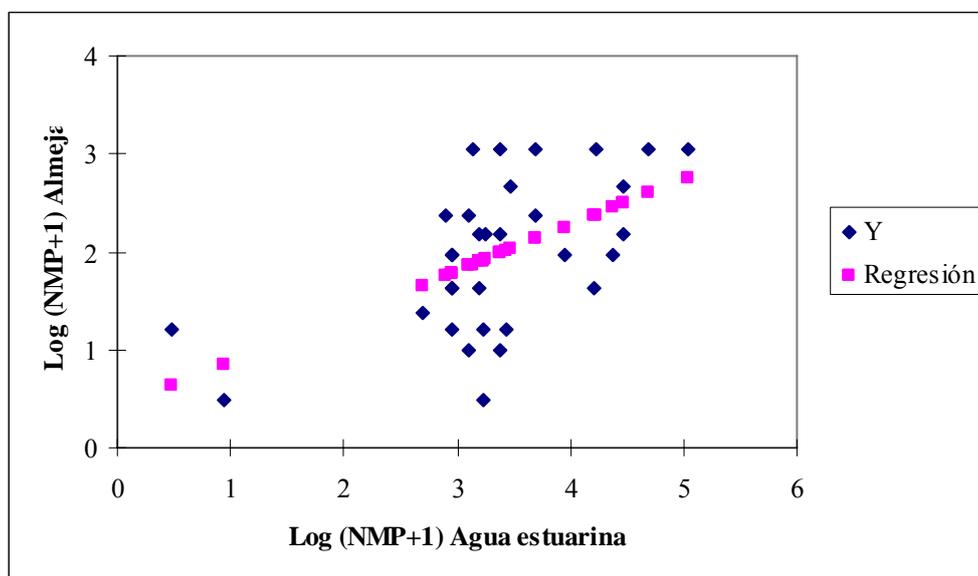


Figura 16. Relación entre los niveles de CF en agua estuarina con niveles de CF en tejido blando de *P. asperrima*. ( $r = 0.56$   $p < 0.01$ ).

#### 6.4.4 Correlación y regresión CF vs. distancia de asentamientos humanos

La correlación negativa ( $r = -0.50$ ,  $p < 0.01$ ) entre los logaritmos de CF en almeja y distancia de asentamientos humanos, nos indica que existe una relación lineal matemática negativa significativa entre ambas variables. Esta relación se puede modelar mediante la ecuación de regresión  $\text{Log } Y = -0.49 \text{ Log } X + 2.58$  (donde “X” es la distancia en metros y “Y” la concentración de coliformes fecales), como se puede observar en la Figura 17.

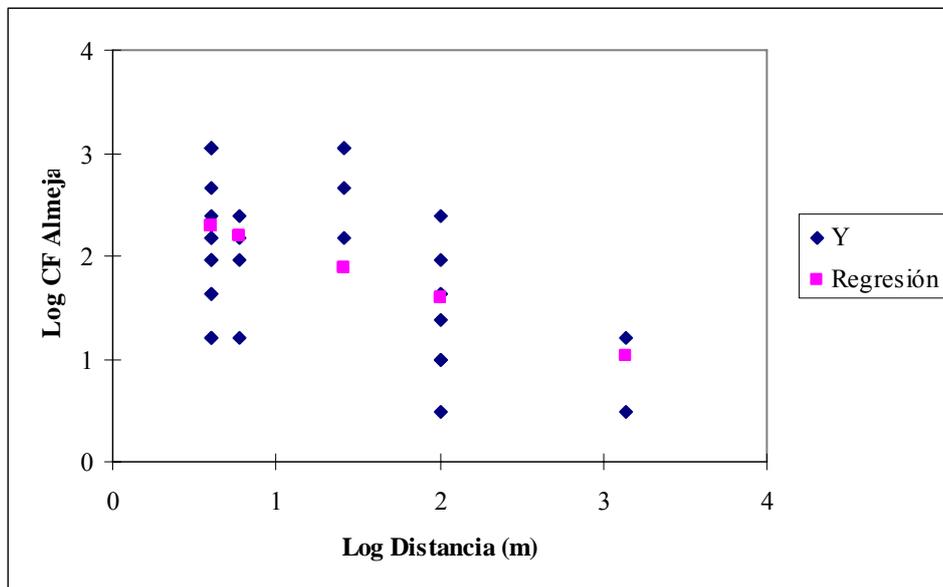


Figura 17. Log Distancia vs. Log CF Almeja y su ajuste de regresión lineal ( $\text{Log } Y = -0.49 \text{ Log } X + 2.58$ ).

La Figura 18, presenta la correlación negativa ( $r = -0.58$ ,  $p < 0.01$ ) entre los logaritmos de CF de agua estuarina y distancia de asentamientos humanos, nos indica que existe una relación lineal matemática negativa significativa entre ambas variables. Esta relación se puede modelar mediante la ecuación de regresión:  $\text{Log } Y = -0.69 \text{ Log } X + 4.19$  (donde “X” es la distancia en metros y “Y” la concentración de coliformes fecales).

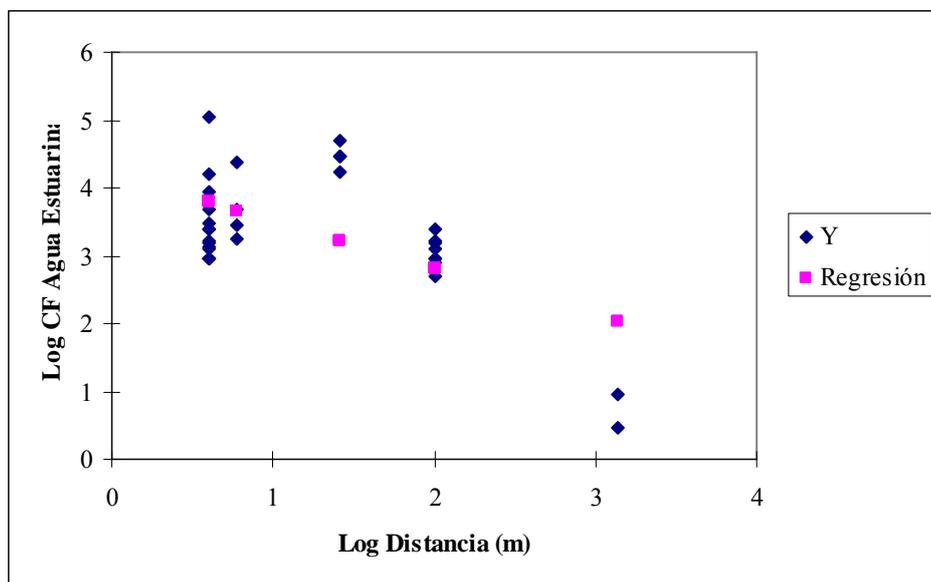


Figura 18. Log Distancia vs. Log CF agua estuarina y su ajuste de regresión lineal ( $\text{Log } Y = -0.69 \text{ Log } X + 4.19$ ).

## VII. DISCUSIÓN

Los ecosistemas estuarinos presentan mucha importancia a la población aledaña, sin embargo son afectados por la obtención de los bienes y servicios que estos presentan generando así contaminación, la cual conlleva a que actividades como la pesca y recreación presente un alto riesgo a la salud humana. Para Salazar-Vallejo (1991) estos tipos de ecosistemas son afectados por el impacto antropogénico local como lo es la contaminación orgánica así como por materia fecal, afectando la calidad sanitaria del ecosistema. A continuación se discuten los principales hallazgos de este estudio.

### **SALINIDAD**

El valor mínimo obtenido en los sitios de muestreo fue de 22 ups y como valor máximo de 28 (Cuadro 2). La Bahía de Jiquilisco presentó un promedio de 24.6 ups tomando en cuenta los dos sitios de muestreo (Puerto El Triunfo y Puerto Parada) lo cual indica que la salinidad en estos dos sitios fue constante durante el periodo de Noviembre-Diciembre. Los promedios obtenidos para El Tamarindo y Bahía La Unión fueron de 26.75 y 24.25 ups respectivamente. Diferente a los datos obtenidos en el Estero El Tamarindo en los meses de Abril-Mayo presentando valores de 30 ups (Melara, 2006). La diferencia puede asociarse a que el período de muestreo de este estudio corresponde al inicio de la época seca, cuando la evaporación estuarina causada por la irradiación solar no es tan intensa como a finales de la misma.

### **Valores de bacterias coliformes fecales (CF) en *P. asperrima***

Los niveles de coliformes fecales en tejido blando de *P. asperrima* variaron entre 2 hasta 1101 NMP/g, durante el periodo de muestreo (Cuadro 3). Los estadísticos descriptivos,

particularmente la media geométrica aplicada a los valores de NMP/g en los cuatro sitios de muestreo, (Cuadro 4) indicaron que los niveles mas bajos de contaminación por materia fecal en almeja los presenta Puerto El Triunfo y los niveles mas altos se encuentran en Bahía La Unión. (26.3 y 212.7 NMP/g respectivamente). Esto puede asociarse al hecho que la ciudad de la Unión presenta una población de 35,000 habitantes que descargan sus aguas residuales a esta bahía, por lo que la zona litoral aledaña presenta una alta contaminación. Esto coincide con lo expuesto por Mallin (2006) quien asocia la contaminación fecal en estuarios a núcleos urbanos aledaños.

En Puerto El Triunfo, los niveles de CF en almeja oscilaron entre 2 y 240 NMP/g, indicando que la zona presenta contaminación por material fecal, en cambio, en Puerto Parada, variaron entre 2 y 1101 NMP/g, reflejando mayor amplitud de rango en los niveles de contaminación fecal. Se considera que la proximidad de asentamientos humanos (3 m) en Puerto Parada puede asociarse a esta situación, ya que la zona de recolecta en Puerto El Triunfo, la distancia a asentamientos humanos cercanos fue de 100 m, lo que pudo causar los bajos niveles determinados, a pesar que Puerto El Triunfo cuenta con una población urbana de 7,500 habitantes, aproximadamente (Web 5).

Es importante señalar que una de las muestras de almejas recolectadas en el área de Puerto Parada (Muestreo 2), corresponde a una zona ubicada a 1370 m de distancia a la zona urbana, cuyos niveles fueron 2 NMP/g, lo que se esperaba considerando que a mayor distancia de asentamientos humanos importantes, la contaminación fecal en estuarios disminuye (Mallin, 2006; Melara, 2006).

El Estero El Tamarindo presentó niveles que oscilan desde 15 hasta 1101NMP/g, este último se repite 3 veces, indicando una importante contaminación fecal en la zona, coincidiendo con los hallazgos de altos niveles de CF en *Anadara similis* y *A. tuberculosa* en este ecosistema, asociados a descargas de aguas residuales provenientes de los asentamientos humanos y a la actividad ganadera de la zona (Melara, 2006). De igual manera, se considera que estos importantes niveles de contaminación fecal están asociados a la hidrodinámica del lugar, así como la influencia de asentamientos humanos muy cercanos y carentes de sistemas sanitarios. También, las almejas de Bahía la Unión indicaron altos niveles que oscilaron entre 15 a 1101 NMP/g, lo cual se puede asociar a los factores ambientales mencionados anteriormente.

Estos resultados demuestran presencia de material fecal en estos tipos de ecosistemas lo cual se ha detectado a nivel mundial, por ejemplo, Bonnadona (1990) determinó contaminación por material fecal en las costas del Mar Adriático, Italia, utilizando a *Mytilus galloprovincialis*, *Donax truncuhts*, y *Ensis siliqua* como biomonitores de contaminación por materia fecal. Así mismo Herrera & Suárez (2005) detectaron coliformes fecales en tejido blando de *Tivela mactroides* en dos playas del litoral caribeño de Venezuela conocido como Golfo Triste, determinando que la principal fuente de contaminación es el arrastre de aguas servidas de los ríos que desembocan en la zona costera. En ese mismo país en la zona litoral de Zulia, el bivalvo *Polymesoda solida*, reflejó variaciones entre  $1.8 \times 10^2$  a  $2.4 \times 10^4$  NMP/g (Sarcos & Botero, 2005). En Centroamérica, Palacios (2000), demostró contaminación por materia fecal en 13 muestras de bivalvos ( $2 - >1100$  NMP/g) en Golfo de Nicoya, Costa Rica.

Utilizando la media geométrica como el estadístico de tendencia central más apropiado para este tipo de datos (Glassner y Mckee, 2002; Sutherland, 2004), se ubican en orden descendente las diferentes estaciones de muestreo según su nivel de contaminación fecal en *P. asperrima*: Bahía La Unión>El Tamarindo>Puerto Parada>Puerto El Triunfo. Como se mencionó anteriormente, la Bahía de La Unión, presenta importantes niveles de contaminación fecal, asociados a un asentamiento humano grande (aproximadamente 35,000 habitantes) cuyas aguas residuales se descargan a este cuerpo de agua.

En ese sentido, Alegría-Coto (1978), demostró la presencia de coliformes fecales en muestras de tejido y jugo de *Anadara tuberculosa* recolectadas en la Isla El Jobal, Bahía de Jiquilisco, concluyendo que una de las principales fuentes de contaminación proviene de las descargas directas de aguas residuales domésticas de la zona. También, Melara (2006) demostró la presencia de coliformes fecales en ejemplares de *Anadara similis* y *Anadara tuberculosa*, recolectadas en Barra De Santiago, Esteros de Jaltepeque y El Tamarindo, detectando un rango de niveles de CF que oscilaron entre 2 hasta 1100 NMP/g. Señalando que la contaminación de tipo fecal en esos estuarios podría estar influenciada por la hidrodinámica del estuario, el tamaño de la población humana aledaña y sus actividades.

Además, Barraza (comunicación personal)<sup>2</sup> detectó niveles entre 2 NMP/g a 240 NMP/g en muestras de *A. similis* y *A. tuberculosa* recolectadas en diferentes zonas de la Bahía de Jiquilisco demostrando contaminación por material fecal. Esto coincide con el rango obtenido en el presente estudio ya que en Puerto El Triunfo los valores oscilaron entre 9 NMP/g a 240 NMP/g.

---

<sup>2</sup> Barraza, J.E. 2007. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Las medias geométricas detectadas por Melara (2006) para CF en *A. similis* y *A. tuberculosa* (B. Santiago, 6.3, E. Jaltepeque 19.9, El Tamarindo, 102.5 respectivamente), reflejaron datos mucho menores que los obtenidos en este estudio para *P. asperrima* (Puerto El Triunfo 26.3, Puerto Parada 62.4, El Tamarindo 199.9 y Bahía La Unión 212.7), lo cual indica que *P. asperrima* soporta mayores niveles de contaminación orgánica, y además se observó su abundancia en lugares contaminados como Bahía La Unión, donde claramente se recolectaron frente a tuberías de aguas residuales. Además coincide parcialmente con lo expuesto por De La Lanza *et. al* (2000) quienes consideran a *A. tuberculosa* como un habitante de manglares libres de contaminación orgánica. Por lo tanto el presente estudio demuestra que esta almeja cumple con los requisitos de amplia distribución, tolerancia a contaminantes, fácil recolección, para considerarla como biomonitor apropiado de contaminación orgánica en estuarios de El Salvador.

Al comparar los datos homogéneos y con la aplicación de un análisis de varianza de un factor (Cuadro 8) nos indica que la mayoría de las comparaciones entre los sitios de muestreo no existía diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ), lo cual permite asumir que no existen variaciones significativas entre los niveles de CF en almejas de los diferentes lugares de estudio, con excepción de Puerto El Triunfo/Estero El Tamarindo donde ( $p = 0.02267503$ ,  $gl=30$ ), y también Puerto El Triunfo/Bahía La Unión ( $p = 0.01031247$ ,  $gl=30$ ) lo cual permite considerar que la estación Puerto El Triunfo mantuvo los niveles mas bajos durante el periodo de estudio. Se considera que se obtuvieron estos resultados debido a que esta estación (muelle de Atarraya S.A.) se ubica aproximadamente a 100 m de asentamientos humanos cercanos y el canal que confluye proviene de una zona no poblada, además, la principal tubería de descargas de aguas residuales crudas se

encuentra en el otro extremo de la ciudad. En cambio, en las otras estaciones de muestreo, se recolectaron almejas en zonas aledañas a asentamientos humanos importantes.

### **Valores de bacterias coliformes fecales (CF) en aguas estuarinas.**

Los niveles de coliformes fecales en agua estuarina variaron entre 2 hasta 110000 NMP/100ml como máximo, durante el periodo de muestreo (cuadro 4). Los estadísticos descriptivos, particularmente la media geométrica aplicada a los valores de CF en agua estuarina superficial en los cuatro sitios de muestreo, indicaron que los niveles mas bajos de contaminación por materia fecal en agua estuarina los presenta Puerto Parada y los niveles mas elevados se encuentran en Bahía La Unión (419.7 - 12110.4NMP/100ml respectivamente). El nivel más alto puede asociarse al hecho que la estación “La Rábida” en Bahía La Unión presenta varias descargas de aguas residuales municipales proveniente de la ciudad del mismo nombre, que cuenta con 35,000 habitantes contrastando con los 3,500 habitantes de Puerto Parada, quienes cuentan con una gran cobertura de letrización sin descargas a cuerpos de agua. Esto coincide con lo expuesto por Glassner y Mckee (2002) quienes asocian la contaminación fecal en estuarios a descargas de aguas residuales domésticas de asentamientos humanos aledaños.

En Puerto El Triunfo, los niveles de CF en agua estuarina oscilaron entre 500 y 2400 NMP/100ml indicando que la zona presenta contaminación por material fecal, en cambio, en Puerto Parada, variaron entre 2 a 9000 NMP/100ml reflejando un rango de variación mas alto en los niveles de contaminación fecal en comparación al primero. Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente, se considera que la proximidad de asentamientos humanos en la estación Puerto Parada puede asociarse a esta situación, además,

exactamente en la zona de toma de muestras, existe una descarga de aguas grises mediante tubería, las cuales puede contener material fecal eventualmente.

Este tipo de contaminación en zonas costeras ocurre en todo el mundo, por ejemplo, (Burkhardt III *et. al.*, 2000) determinaron contaminación por material fecal en las costas de Mobile Bay, Alabama y Narragansett Bay, Rhode Island USA; confirmando la presencia de *E. coli* comprendía en un 95% de las muestras analizadas. En este estudio, el 100% de las muestras obtenidas se evidencio la presencia de bacterias coliformes fecales.

Así mismo, Ho & Tam (2000) detectaron presencia de CF en agua estuarina en diferentes áreas de cultivos de mejillones en Hong Kong, donde la calidad de agua del sitio de muestreo fue relativamente limpia, puesto que los rangos de niveles de CF oscilaron de entre 14 a 43 NMP/100ml, contrastando con el presente estudio, donde el rango obtenido osciló entre 2 a 110000 NMP/100ml. De igual forma, Alvarado, (1997) demostró contaminación por materia fecal en la zona costera conocida como “Tortuguero”, Costa Rica, donde los niveles de NMP oscilaron desde 9 hasta 7500NMP/100ml. De igual forma en el presente estudio se demostró la existencia de una alta contaminación por material fecal en los sitios de muestreo, ubicados en la zona costera del país.

Debe considerarse que debido a que las muestras se tomaron en marea baja, los niveles de NMP presentaban mayor concentración, ya que Mallin (2006), determinó que durante este periodo de marea, los niveles de NMP se elevan debido a la poca dilución de la contaminación orgánica en ecosistemas estuarinos de la costa Este de Estados Unidos de América.

Al comparar los valores logarítmicos entre los niveles de CF en agua mediante un análisis de varianza de un factor (cuadro 8) se observa que en la mayoría de las comparaciones entre los sitios de muestreo no existió diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ), a excepción de Puerto Parada/Bahía La Unión donde ( $p = 0.0097$ ,  $gl=30$ ), y también Puerto El Triunfo/Bahía La Unión ( $p = 0.0002$ ,  $gl=30$ ). Lo que confirma lo anteriormente expuesto referente a los altos niveles de contaminación registrados en la Estación Bahía de La Unión, que contrasta con las estaciones Puerto Parada y Puerto El Triunfo. Así mismo Sagastizado (1995) señaló niveles de coliformes totales superiores a 1100 NMP/100 ml en la zona de Puerto El Triunfo y desembocadura del río Chaguantique. Esto indica que en la mayoría de los casos, durante el periodo del presente estudio no se detectaron diferencias significativas en los niveles de CF de agua entre las diferentes estaciones de muestreo, indicando así, niveles importantes de contaminación fecal en agua estuarina superficial en los diferentes ecosistemas involucrados en este estudio.

De igual forma al considerar los resultados obtenidos en este estudio en Bahía la Unión, con estudios realizados por MARN (2006), donde determinaron contaminación por CF en los ecosistemas fluviales del Golfo de Fonseca cuyos valores oscilaron entre 11 millones a 16 millones NMP/100ml. se asume que dichos niveles son atribuidos a la falta de servicios de saneamiento y el mal uso de letrinas en esas zonas aledañas a los cuerpos fluviales incluidos en el estudio.

Los requisitos de la calidad del agua de mar para recreación según La Comunidad Económica Europea (WHO, 1996), requiere que un 95% de las muestras no sobrepase el valor de 100 NMP/100 ml, utilizando una frecuencia quincenal. En el presente estudio, Puerto El Triunfo no obtuvo el valor mínimo permitido por dicha norma ya que el nivel

mínimo fue de 500 NMP/100ml indicando que la calidad del agua estuarina de este ecosistema (Puerto Atarraya) no es apta para recreación. Así mismo, al comparar Puerto Parada con dicha norma, el 75% de los valores obtenidos se encuentra arriba de 100NMP/100ml, por lo tanto no cumple con dicha norma. Estero El Tamarindo y Bahía La Unión no cumplen con dicha normas por lo tanto estos ecosistemas no demostraron la calidad sanitaria optima para considerarlos como área de recreación marina.

### **Calidad Sanitaria de las muestras de *P. asperrima***

Para poder describir la calidad sanitaria de *P. asperrima* se debe mencionar que el limite de NMP en muestras de moluscos bivalvos es 230 NMP/100g según la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA) de los Estados Unidos de América y debido a que FUSADES presenta sus resultados en unidades de NMP/g de tejido y líquidos, se optó por transformar el límite en mención de 230 NMP/100 g a 2.3 NMP/g En este estudio, el 100% de las muestras obtenidas en las diferentes estaciones de muestreo (n = 8, cada una) superan el límite antes mencionado.

Los niveles de CF expuestos anteriormente indican que los ejemplares de *P. asperrima* recolectados en las zonas de muestreo mencionadas, no son aptos para consumirlos de forma cruda por humanos. Aunque se debe considerar que a diferencia de *A. similis* y *A. tuberculosa*, esta almeja no se consume cruda sino cocida lo cual presenta una ventaja para la prevención de enfermedades asociadas a patógenos presentes en material fecal.

### **Relación CF agua estuarina y CF en ejemplares de *P. asperrima*.**

El índice de correlación de Pearson indicó una relación lineal intensa ( $r = 0.56$ ,  $p < 0.01$ ,  $gl = 30$ ) entre los logaritmos de CF en agua estuarina y *P. asperrima*. La relación lineal se

ilustra en la figura 4, donde la ecuación  $\text{Log } Y = 0.67 \text{ Log } X + 2.01$  ( $gl = 30$ ) representa dicha relación numérica. Esto permite considerar que la contaminación fecal de bivalvos está asociada de forma directa y proporcional al nivel de estas bacterias coliformes presentes en el agua circundante (fig. 12), lo cual no fue observado por Herrero *et. al.* (2000) ya que los niveles de CF obtenidos en agua lo relaciona con la ausencia de correlación entre los niveles de CF en bivalvos, debido a que no todas las muestras del bivalvo fueron extraídas de su hábitat natural.

#### **Relación Distancia con niveles de CF en *P. asperrima*.**

Mediante el índice mencionado anteriormente, se determinó que existe una correlación negativa significativa ( $r = -0.50$ ,  $p < 0.01$ ,  $gl = 30$ ). Esto permite asumir que a medida que la distancia a asentamientos humanos aumenta los niveles de CF en tejido blando de *P. asperrima* disminuyen. Esto ocurre debido a un efecto de dilución por las corrientes de agua, a medida que se aleja de los asentamientos humanos, lo cual puede estar influenciado por una variedad de interacciones ambientales, incluyendo las mareas (Mallin, 2006) La figura 13 representa la ecuación que representa esta relación numérica es:  $\text{Log } Y = -0.48 \text{ Log } X + 2.57$  ( $p < 0.01$ ). Así mismo Melara (2006), presentó similares resultados para El Zapatero y Barra de Santiago, ya que estos sitios se encuentran alejados de asentamientos humanos importantes.

#### **Relación Distancia con niveles de CF en agua estuarina.**

De igual forma el mismo índice, demostró que la relación existente entre distancia de asentamientos humanos aledaños y niveles de CF en agua refleja una correlación negativa significativa donde ( $r = 0.58$ ,  $p < 0.01$ ,  $gl = 30$ ). La ecuación es:  $\text{Log } Y = -0.69 \text{ Log } X + 4.20$  representa esta relación numérica (figura 14). La correlación significativa permite

considerar que la contaminación fecal en cuerpos de aguas estuarinos disminuye a medida que la distancia hacia éstos se incrementa, lo cual es lógico debido a la capacidad de dilución de estuarios extensos con canales anchos (Mallin, 2006).

***P. asperrima* como biomonitor de contaminación fecal estuarina.**

Este estudio permite considerar de forma preliminar a *P. asperrima* como biomonitor apropiado de material fecal en estuarios de El Salvador, ya que cumple con los requisitos propuestos por Carballeira *et al.* (1997), considerando que un buen biomonitor debe presentar fácil recolección (50 individuos en 15-20 minutos), abundancia y amplia distribución en ecosistemas estuarinos. En cambio *A. similis* y *Anadara tuberculosa* no calificaron con los requisitos antes mencionados ya que para su recolecta requiere de medios de transporte acuático, y su abundancia es relativamente baja debido a la intensa explotación comercial (Melara, 2006).

Los resultados obtenidos en el presente estudio, indican que *Protothaca asperrima* acumula coliformes fecales en su tejido blando, al igual que los estudios realizados con *Anadara similis* y *A. tuberculosa* (Melara, 2006). También, se pudo comprobar la adaptabilidad de esta especie para habitar en sedimentos con alta carga orgánica, por lo cual es capaz de acumular altos niveles de CF en sus tejidos blandos. Esta especie presenta varias ventajas para considerarla como biomonitor de material fecal en cuerpos estuarinos del país, sin embargo se requieren más investigaciones para comprobar esta idoneidad.

## VIII. CONCLUSIONES

Los niveles de salinidad obtenidos en el presente estudio demostraron que es una variable independiente a los valores de coliformes fecales obtenidos en *P. asperrima* así como en agua estuarina.

Los ejemplares de *P. asperrima* recolectados en las estaciones Puerto El Triunfo, Puerto Parada y Bahía La Unión así como Estero El Tamarindo, presentaron valores de coliformes fecales que oscilaron desde 2 a 1101 NMP/g durante el presente estudio.

La media geométrica aplicada a los valores de CF en tejido blando de *P. asperrima* (26.3, 212.7.NMP/g) colocan a las estaciones Puerto El Triunfo y Bahía la Unión como los que presentaron menor y mayor contaminación fecal, respectivamente.

Se comprueba parcialmente la hipótesis nula ya que no se detectaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los valores de CF en tejido blando de *P. asperrima* con la excepción de las comparaciones Puerto El Triunfo/Estero El Tamarindo y Puerto El Triunfo/Bahía la Unión, donde sí se detectaron dichas diferencias, indicando mayores niveles de contaminación en las estaciones El Tamarindo y La Unión.

Se determinó correlación positiva significativa ( $r = 0.56$ ) entre los valores de CF de agua estuarina y tejido blando de *P. asperrima*, indicando una relación lineal directa y proporcional entre ambas variables.

Se detectó correlación negativa significativa entre distancia de asentamientos humano a los lugares de recolecta de las muestras y los niveles de CF en *P. asperrima* ( $r=0.50$ ) así como las de agua estuarina ( $r = 0.58$ ).

Se determinó de forma preliminar que *P. asperrima* puede ser utilizado como biomonitor de contaminación por material fecal en estuarios de El Salvador.

## IX. RECOMENDACIONES

Desarrollar más estudios sobre niveles de contaminación por material fecal en zonas costeras del país ya que estos ecosistemas representan importancia económica debido a la extracción de moluscos, así como importancia turística.

Tomar en cuenta la calidad sanitaria del ecosistema para la extracción de moluscos para consumo humano. Así mismo, es importante mantener la cocción completa para el consumo de *P. asperrima*.

También, es importante que las instituciones de gobierno como el Ministerio de Salud, así como los Hospitales Nacionales tomen en cuenta este tipo de estudio para tener un mayor control sobre los brotes de enfermedades derivadas del consumo de mariscos crudos.

Así mismo informar a las autoridades y alcaldías para generar sistemas de tratamiento a las aguas residuales tanto las de sus municipios correspondientes, como de los núcleos poblacionales aledaños a la zona costera.

De igual forma instituciones como el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales y CENDEPESCA debe de crear estudios y actividades de depuración en moluscos, así como educación ambiental dirigida a las poblaciones encargadas a la extracción y comercialización de bivalvos.

Investigar la capacidad de acumulación de coliformes fecales en moluscos expuestos a efluentes de aguas residuales crudas en diferentes ecosistemas para detectar el nivel de contaminación tolerable por la especie.

## X. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Alcolado, P.M. 1994. En Prensa. Comunidades de esponjas de los arrecifes del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de punta de Betín*.
- Alegría Coto, J.R. 1978. Análisis Bacteriológicos de Muestras de “Conchas” o “Curiles” *Anadara tuberculosa* (Sowerby 1983) Colectados en la Bahía de Jiquilisco. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad de El Salvador. Tesis para optar el grado de Licenciatura en Biología. 91 pp.
- Alvarado, D. M. 1997. Calidad Sanitaria de los Canales de Tortuguero y su efecto sobre los diferentes usos del agua. *Revista Costarricense de Salud Publica*. Vol. 6. N° 10 San Jose.
- Anónimo. 1993. WHO. Guidelines for drinking-water quality. WHO, Vol 1, 2 Ginebra, Suiza. p. 8-20:39-93.
- APHA – AWWA – WPCF, 1980. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 15<sup>th</sup> ed., Am. Publ. Health Ass., Washington, 1134 pp.
- Ashbolt NJ, W. Grabow, M. Snozzi. 2001. Guidelines: the current position. In: *Water Quality: guidelines, Standards and Health. Assessment of risk and risk management for water-related infectious diseases*. Fewtrell L, Bartram J (eds.) IWA-Publishing, London UK, pp. 440.
- Azucena C. D & López C. E. 2006. Niveles de Arsénico, Mercurio y Plomo en Sedimento y Tejido Blando de *Anadara* spp. en el Estero de Jaltepeque,

Departamento de La Paz, El Salvador. Escuela de Biología, Universidad de El Salvador (Tesis de Licenciatura). 109 pp.

Barraza, J. E. 2000. Determinación de metodología óptima para la biomonitorización de metales pesados en sedimento y biota del río Lempa. PROARCA/CAPAS. El Salvador. 13pp.

\_\_\_\_\_, 2006. Moluscos comestibles de El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 21pp.

\_\_\_\_\_, & M. Vásquez 1988. Diagnóstico de Contaminación del Agua de Consumo Doméstico en Algunas comunidades Marginales del Área Metropolitana de San Salvador. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad de El Salvador. (Tesis de Licenciatura), 74 pp.

\_\_\_\_\_, & A. Carballeira. 1998. Una nota corta sobre metales pesados de la Bahía de la Unión, Golfo de Fonseca, El Salvador. Publicación Ocasional N.º 1. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador. 8 pp.

Bortman, M. 1999. Elaboración de corredores o canales endémicos mediante planillas de cálculo. Rev. Panam. Salud Pública. 5 (1): 1-15.

Bonadonna, L., L. Voltera, F. A. Aulicino & L. Mancini. 1990. Accumulation power of some bivalve molluscs. Marine Pollution Bulletin. 21 (2): 81-84.

Borrego J.J. & Mariño F.J. 1995. Estudio epidemiológico de zonas de baño de la Provincia de Málaga. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería Salud, pp.1-217.

Burkhardt III W., Calci K. R. William D. Watkins, Scott R. Rippey and Stuart J. Chirtel. 2000. Inactivation of Indicator Microorganisms in Estuarine Waters.

Published by Elsevier Science Ltd Printed in Great Britain Wat. Res. Vol. 34,  
No. 8, pp. 2207±2214.

Carballeira A., E. Carral, X. M. Puente & R. Villares 1997. Estado de Conservación de la Costa de Galicia. Nutrientes y Metales Pesados en Sedimentos y Organismos Intermareales. Universidad de Santiago Compostela, España. Imprenta Universitaria, Pavillón de Servicios. Campus Sur. Santiago. 107 pp.

Chapman, P.M., R.N. Dexter y L. Goldstein, 1987. Development of monitoring programmers to assess the long-term health of aquatic ecosystems: A model from Puget Sound, U.S.A. Mar. Poll. Bull. 18:521- 527.

CONACYT Norma NSO 13.49.01:05. Calidad de aguas residuales descargadas a cuerpo receptor. El Salvador. 2005.

Cliver D. O. 1998 Transmisión de Virus a través de los Alimentos Food Technology. 42:241-248.

De la Lanza G., S. Hernández, J.L. Carvajal. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación México D.F. 633 pp.

Cruz Soto, R.A.& J.A. Jimenez. 1994. Moluscos asociados a las áreas de manglar de la costa pacifica de América Central, Editorial Fundación UNA. Costa Rica. 182 pp.

Feng, M., Stephen D. Weagant, Michael A. Grant. 1995. Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. In: Bacteriological Analytical Manual, 8<sup>th</sup> Edition, Chapter 4.

- Feng, P., S. D. Weagant & M. A. Grant. 1998. Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. In: Bacteriological Analytical Manual. 8<sup>th</sup> Ed. U.S. Food and Drug Administration. Chapter 4.
- Ford, T. E. 1993. The microbial ecology of water distribution and outfall systems. In: Ford, TE (ed.) Aquatic Microbiology: An Ecological Approach, pp. 455-482. Blackwell, Boston.
- Freire J, L Fernández, E González-Gurriarán & R Muiño (2003). Impacto ambiental da marea negra do Prestige: efectos sobre os ecosistemas mariños e os recursos pesqueiros. Papel da comunidade científica na resposta á crise. En, ¿Qué foi do Prestige?. Balance ecolóxico e social sobre as causas e efectos do afundimento do Prestige. J. Cabrera & A García-Allut (eds.). Ed. Sotelo Blanco.
- Gerba C. P., Goyal S. M., LaBelle R. L., Cech I. and Bogdan G. F. (1979) Failure of indicator bacteria to reflect the occurrence of enteroviruses in marine waters. American Journal of Public Health 69, 1116-1119.
- González M. I., Rojas T. & Rubalcaba S. 2000. Microbiological quality of coastal waters in tropical climates. Habana Cuba.
- Glasner, A., & Mc Kee, L., 2002. Pathogen Occurrence and Analysis in Relation to Water Quality Attainment in San Francisco Bay Area Watersheds. A report prepared by San Francisco Estuary Institute to assist regulatory agencies with the development of Bay Area TMDLs.
- Hall, R. A., Soc, E. G. & Meaburn, G. M. 1976. National Marine Fisheries Service survey of trace elements in the fishery resources. NOAA, NMFS, Southeast Fisheries Center, College Park, MD.

- Havelaar A, Blumenthal UJ, Strauss M, Kay D, Bartram J. 2001. Guidelines: the current position. In: Water Quality: guidelines, Standards and Health. Assessment of risk and risk management for water-related infectious diseases. Fewtrell L, Bartram J (eds.) IWA-Publishing, London UK, pp. 440.
- Herrera, Antonio y Suárez, Paula. 2005. Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera. INCI, Mar, Caracas, Venezuela. Vol.30, no.3, p.171-176.
- Herrero, U.L. F.A. Palacios, O.L Hun, A.F. Vega. 1999. Ausencia de detección de enterovirus en bivalvos *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) por contaminación química en el pacífico de Costa Rica. Sección de Virología Médica, Facultad de Microbiología, Universidad de Costa Rica San José Costa Rica. Rev-Biol-Trop 1999. Vol. 47, pp 419-427.
- Hisgen, R. 1992. Biomonitoring Indian Rivers. *Land & Water Int. Env.*, 73: 18-20.
- Ho, S.W.& Tam Y. T. 2000. Natural Depuration of Shellfish for Human Consumption: a Note of Caution. All rights reserved Printed in Great Britain. Wat. Res. Vol. 34, No. 4, pp. 1401±1406.
- López, I., I.G. Luna, A. Gutiérrez, J. Villalaz. 1996. Ciclo Reproductivo de la Almeja Blanca *Protothaca asperrima* (Pelecypoda: Veneridae) en Playa Bique, Arraijan. Escuela de Biología Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología Universidad de Panamá. Tecnociencia Vol. 7, N° 1.
- Marchena, G.D. & A.G. De León 1995. Crecimiento y Madurez Sexual en *Protothaca asperrima*, (SOWERBY 1835), en la Temporada Lluviosa (1994) y Seca (1995) en Condiciones de Laboratorio. Escuela de Biología Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología Universidad de Panamá. Resumen Ejecutivo.

- MacKenzie, C. L. 2001. The fisheries for mangrove cockles, *Anadara* spp., from Mexico to Peru, with descriptions of their habitats and biology, the fishermen's lives, and the effects of shrimp farming. *Marine Fisheries Review*. 63 (1): 1-39.
- Mallin, M.A. 2006. Wading in waste. *Scientific American*. 294: 42-49.
- McFeters G, J. Barry, J. Howington. 1993. Distribution of enteric bacteria in antarctic seawater surrounding a sewage outfall. *Water Res.* 27: 645-650.
- Melara, V.E. 2006. Contaminación por Coliformes Fecales en *Anadara similis* y *A. tuberculosa* en los Estuarios Barra de Santiago, Jaltepeque y El Tamarindo. Escuela de Biología, Universidad de El Salvador (Tesis de Licenciatura). 79 pp.
- Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales 2002. Informe Nacional del Estado del Medio Ambiente. Editorial MARN. San Salvador. El Salvador Centro América. 110 pp.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2006. Estudio para el establecimiento del sistema de monitoreo de la calidad de las aguas en el Golfo de Fonseca. JICA.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2004. Plan de manejo del Área Natural y Humedal Bahía de Jiquilisco. San Salvador, El Salvador UCA Editores, 258 p.
- Muñoz, E. A. & C. A. Díaz. 1984. Algunos aspectos sobre la maduración sexual y producción de *Protothaca asperrima* en la Bahía de Panamá. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 63 pp.

- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1995. Guía para la calidad del agua potable Vol. 1. Recomendaciones 2ª Edición Ginebra.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1998. Guías para ambientes seguros en aguas recreativas. Volumen 1: Aguas costeras y aguas dulces. Versión preliminar para consulta. Ginebra: OMS; 1998. Traducido en CEPIS, Lima, Perú.
- Ott, L. 1988. An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis. 3<sup>rd</sup> Ed. PWS-KENT Publishing Company, Boston, 819 pp.
- Palacios, J.A.; J.A. Rodríguez; R.A. Cruz & J. Bolaños. 1986a. Estudio sobre la Biología de *Prothotaca asperrima* (Pelecypoda:Veneridae) I. Distribución y Cuantificación. Brenesia. 25-26:1-11.
- PNUMA (2003) *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO 3*. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Mundi Prensa. Madrid, España. 410 pp.
- Prescott, Lansing M. Harley, Jhon P. Klein, Donald, A. 1996. Microbiology, 3era edición, Wm C. Brown Publisher, E.E.U.U.
- Rainbw, P. S. 1985. The biology of heavy metal in the sea. International Enviromental Studies. 25: 19-211.
- Reyes-Castañeda, P. 1980. Bioestadística Aplicada. Editorial Trillas. México D.F. 216 pp.
- Ron J. L. & A. D. Younger. 2002. Determination of the relationship between faecal indicator concentrations and the presence of human pathogenic micro-organisms in shellfish. Molluscan Shellfish Safety. Santiago de Compostela. España. pp 620.

- Ruppert, E.E. & Barnes, R.D. 1995. Zoología de los Invertebrados McGraw-Hill Interamericana sexta edición 1113 pp.
- Salas, H. J. 2000. Historia y Aplicación de Normas Microbiológicas de Calidad del Agua en el Medio Marino. Bull of Saint. Panamá 107 (3).
- Salazar-Vallejo, S. 1991. Contaminación Marina. Editorial Cuadratín y Medio S.A de C.V. México DF. 193 pp.
- Sagastizado, M. E. 1995. Poblaciones de enterobacterias en aguas superficiales y sedimento durante la estación seca en la Bahía de Jiquilisco, Pp 85-90. In J. Zamarro (ed.). Simposium ecosistemas de manglares en el Pacifico Centroamericano y su recurso de post-larvas de camarones pènididos. Editorial programa regional de apoyo al desarrollo de la pesca en el istmo centroamericano (PRADEPESCA) El Salvador.
- Sarcos, M. & L. Botero. 2005. Calidad microbiológica de la almeja *Polymesoda solida* recolectada en playas del Municipio Miranda del Estado Zulia. Ciencia. Universidad de Zulia, Venezuela. 13: 34-43.
- Selegman, J., R. Kusserow, R. Patel, T. heidtke & J. Ram. 2001. Using Zebra mussels to monitor *Escherichia coli* in Environmental Waters. Environ Qual. 30:171-179.
- Stuart, T. W. 2000 Microbiología. Mc Graw-Hill Interamericana. Philadelphia, Pennsylvania. USA. pp 532.
- Sutherland, D. 2004. Water Quality Objectives Attainment Monitoring Burrard Inlet in 2002. Ministry of Water, Land & Air Protection. British Columbia, Canada. 55 pp.

Telesca, A.T & I.A. Visuetti. 1985. Estudio del crecimiento y la migración horizontal de *Protothaca asperrima* Sowerby, 1835 (Lamellibranchia: Veneridae) en la Bahía de Bique, Panamá. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 120 pp.

Yáñez – Arancibia, A. 1986 Ecología de la Zona Costera. A.G.T. Editor S.A. México D.F. 179 pp.

Zarogian, G. E. & S. Cheer, 1976. Accumulation of cadmium by the American oyster, *Crassostrea virginica*. Nature, 261, 408-10.

### **Referencias de Internet**

Web1. [http://WWW2.msstate.edu/~d\\_morse/homogeneity.Pdf](http://WWW2.msstate.edu/~d_morse/homogeneity.Pdf)

Web2. [http://www.ecoinfo.ec.ge.ca/env\\_ind/region/shellfish/shellfish\\_e.cfm](http://www.ecoinfo.ec.ge.ca/env_ind/region/shellfish/shellfish_e.cfm)

Web3. <http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-4.html#authors>

Web4. <http://www.ifremer.fr/envlit/prestige/index.htm>

Web5. <http://www.sacdel.org.sv/html/municipios/usulutun.html>

# **ANEXOS**

**Anexo 1 TABLA DE CALCULO DE NMP/g SERIE DE TRES TUBOS.**

Pos. tubes			MPN/g	Conf. lim.		Pos. Tubes			MPN/g	Conf. lim.	
0.10	0.01	0.001		Low	High	0.10	0.01	0.001		Low	High
0	0	0	<3.0	--	9.5	2	2	0	21	4.5	42
0	0	1	3.0	0.15	9.6	2	2	1	28	8.7	94
0	1	0	3.0	0.15	11	2	2	2	35	8.7	94
0	1	1	6.1	1.2	18	2	3	0	29	8.7	94
0	2	0	6.2	1.2	18	2	3	1	36	8.7	94
0	3	0	9.4	3.6	38	3	0	0	23	4.6	94
1	0	0	3.6	0.17	18	3	0	1	38	8.7	110
1	0	1	7.2	1.3	18	3	0	2	64	17	180
1	0	2	11	3.6	38	3	1	0	43	9	180
1	1	0	7.4	1.3	20	3	1	1	75	17	200
1	1	1	11	3.6	38	3	1	2	120	37	420
1	2	0	11	3.6	42	3	1	3	160	40	420
1	2	1	15	4.5	42	3	2	0	93	18	420
1	3	0	16	4.5	42	3	2	1	150	37	420
2	0	0	9.2	1.4	38	3	2	2	210	40	430
2	0	1	14	3.6	42	3	2	3	290	90	1,000
2	0	2	20	4.5	42	3	3	0	240	42	1,000
2	1	0	15	3.7	42	3	3	1	460	90	2,000
2	1	1	20	4.5	42	3	3	2	1100	180	4,100
2	1	2	27	8.7	94	3	3	3	>1100	420	--



### **Anexo 3. Estadísticos de tendencia central.**

#### **Puerto El Triunfo**

Fecha	Media Geométrica	Desviación Estándar
21/Nov/06	14.3874946	9.89949494
30/Nov/06	4.24264069	4.94974747
05/Dic/06	63.237647	36.3553391
18/Dic/06	101.587401	139.300036

#### **Puerto Parada**

Fecha	Media Geométrica	Desviación Estándar
21/Nov/06	118.110118	40.3050865
30/Nov/06	5.47722558	9.19238816
05/Dic/06	319.843712	712.056529
18/Dic/06	60	159.099026

#### **El Tamarindo**

Fecha	Media Geométrica	Desviación Estándar
23/Nov/06	47.434165	95.4594155
27/Nov/06	43	0
07/Dic/06	1100	0
19/Dic/06	711.33677	452.54834

#### **Bahía La Unión**

Fecha	Media Geométrica	Desviación Estándar
23/Nov/06	37.3496988	55.1543289
27/Nov/06	189.73666	63.6396103
07/Dic/06	711.33677	452.54834
19/Dic/06	406.20192	671.751442

#### **Anexo 4. Estadísticos de tendencia central.**

##### **Puerto El Triunfo**

Fecha	Media Geométrica	Desviación Estándar
21/Nov/06	806.225775	565.685425
30/Nov/06	2019.90099	494.974747
05/Dic/06	1200	494.974747
18/Dic/06	848.528137	70.7106781

##### **Puerto Parada**

Fecha	Media Geométrica	Desviación Estándar
21/Nov/06	4647.58002	4666.90476
30/Nov/06	4	4.24264069
05/Dic/06	1122.49722	353.553391
18/Dic/06	1486.60687	282.842712

##### **El Tamarindo**

Fecha	Media Geométrica	Desviación Estándar
23/Nov/06	1200	494.974747
27/Nov/06	3794.73319	10677.3124
07/Dic/06	23452.0788	74246.212
19/Dic/06	2683.28157	424.264069

##### **Bahía La Unión**

Fecha	Media Geométrica	Desviación Estándar
23/Nov/06	8197.56061	14990.6638
27/Nov/06	3000	2262.7417
07/Dic/06	22583.1796	9192.38816
19/Dic/06	38729.8335	14142.1356