

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE
ALIMENTOS



**EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA EN
LA BAHÍA DE JIQUILISCO, DEFINICIÓN DE
METODOLOGÍAS DE MUESTREO, VALIDACIÓN Y
CUANTIFICACIONES ANALÍTICAS PARA AGUA
SALADA**

PRESENTADO POR:

**LILIANA MARGARITA CHÁVEZ MOLINA
MARÍA ELENA MEJÍA CASTELLANOS
OSCAR ABDALÁ REYES ROMERO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE
ALIMENTOS**

DIRECTOR :

M.Es. e ING. TANIA TORRES RIVERA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE
ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO QUÍMICO

Título

:

**EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA EN
LA BAHÍA DE JIQUILISCO, DEFINICIÓN DE
METODOLOGÍAS DE MUESTREO, VALIDACIÓN Y
CUANTIFICACIONES ANALÍTICAS PARA AGUA
SALADA**

Presentado por

:

LILIANA MARGARITA CHÁVEZ MOLINA

MARÍA ELENA MEJÍA CASTELLANOS

OSCAR ABDALÁ REYES ROMERO

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docentes Directores

:

ING. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

ING. ÁLVARO JOSUÉ AMAYA ARÉVALO

San Salvador, noviembre de 2012

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

ING. ÁLVARO JOSUÉ AMAYA ARÉVALO

AGRADECIMIENTOS GENERALES

Agradecemos:

Primero a Dios, por permitirnos llegar hasta aquí y culminar una etapa más de nuestras vidas con la finalización de nuestro Trabajo de Graduación.

A nuestros asesores, Ing. Eugenia Gamero y al Ing. Álvaro Amaya por guiarnos durante todo este recorrido.

A la Ing. Tania Torres Directora de la Escuela de Ing. Química e Ing. de Alimentos y al Ing. Teodoro Ramírez Coordinador de Trabajos de Graduación.

Al MARN por brindarnos el apoyo para que este proyecto pudiera concretarse. En especial a la Lic. Regina Cortez, Ing. Bessy Soto, Ruth Méndez y al Dr. Enrique Barraza por compartir sus conocimientos y brindarnos su apoyo en cada una de las tapas que conforman este trabajo de graduación.

A los miembros del proyecto MARN / PACAP, especialmente al Lic. Oscar Molina y los guardabosques, por su disposición de colaboración para la realización de este proyecto.

A los miembros de la Comunidad Universitaria.

A nuestros familiares y amigos.

Oscar Abdalá Reyes Romero

María Elena Mejía Castellanos

Liliana Margarita Chávez Molina

...Hoy sonrío recordando la lección
que la vida con paciencia me enseñó,

Nada hay bajo el sol que no tenga solución
nunca una noche venció a un amanecer...

Doy mis agradecimientos a Dios, que me concedió vida y existir en este maravilloso mundo que llamamos Planeta Tierra.

A mis padres, Elida y José, que me enseñaron como vivir la vida, a mis hermanos que me acompañaron en este preciado aprendizaje y que siempre están ahí cuando los necesito.

A tan prestigiosa Universidad que me abrió las puertas y me permitió avanzar hacia el camino del éxito, a la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería en Alimentos que me brindó por 6 años los conocimientos necesarios para desarrollarme profesionalmente a través de sus destacados docentes (Ing. Laínez, Ing. Rico, Ing. Tania Torres, Ing. Teo, Ing. Gamero, Ing. Sara, Ing. Arévalo, Ing. Juan, Ing. Ceci y demás personal).

Al Laboratorio de Calidad de Aguas del MARN / DGOA, que me permitió realizar mi servicio social y a todo el personal que labora en dicho lugar, especialmente a Ing. Bessy, Lic. Regina Cortez y Ruth Méndez que compartieron sus conocimientos y me ofrecieron la primera experiencia laboral y profesional (sin goce de sueldo por supuesto...jaja), pero con algo más apreciado en la vida "El Conocimiento".

A mis asesores, Ing. Álvaro Amaya e Ing. Eugenia Gamero, que me ayudaron a culminar el último trabajo de la carrera.

A mis compañeras de Trabajo de Graduación, Elena Castellanos y Liliana Chávez, que me tuvieron mucha paciencia y tolerancia en todo este proceso.... pero al final Lo Logramos!!!

Y a todos mis compañeros de la carrera de I.Q., con quienes compartí muchas alegrías y tristezas, todos inspirados por el mismo objetivo, graduarnos como Ingenieros Químicos.

Oscar Abdalá Reyes Romero

“El principio de la sabiduría es el temor de Jehová...”, Salmos 111:10

Dedico este trabajo a Dios y a mi madre Silvia Castellanos por ser mis mayores ejemplos e inspirarme en esta carrera y en mi vida...

*“Enséñame buen sentido y sabiduría,
Porque tus mandamientos he creído” Salmos 119:66*

Agradezco a:

Dios, mi padre, por ser el dador de la sabiduría y la inteligencia, por sostenerme cada día de mi vida.

Mis padres Oscar y Silvia, mis hermanas Mariany e Iliana por comprenderme y apoyarme en mi decisión; por enseñarme los valores y principios para ser una persona íntegra.

La Universidad de El Salvador, en especial a los docentes de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos que me permitieron visualizar nuevos horizontes y formar mi carácter.

Mis asesores, Ing. Eugenia Gamero e Ing. Álvaro Amaya por ser comprensivos y guiarnos en cada momento.

Ing. Bessy, Ruth Méndez y Lic. Regina Cortez que me abrieron sus puertas y compartieron sus conocimientos con la mejor disposición, ayudándome a perder el miedo al “primer trabajo” con sus consejos... muchas gracias.

Mis compañeros y ahora amigos, Lili y Abdalá, por compartir esos momentos tan especiales... y aquellos que queremos olvidar (hahaha)... que nos llevaron hasta este punto.

A mis amigas, que un día tomamos la decisión de estudiar Ingeniería Química y ahora podemos llamarnos colegas; y a todos los que estuvieron conmigo a lo largo de este proceso por sus oraciones, palabras de ánimo y por compartir conmigo mis triunfos.

Spike y Batsy por alegrarme todos los días... miss you Batsy.

“...Hacia la Excelencia por Nuestro Señor Jesucristo...”

María Elena Mejía Castellanos

*<< ¿Optimismo?, siempre! También cuando las cosas salen aparentemente mal: quizá es esa la hora de romper a cantar, con un Gloria, porque te has refugiado en ÉL, y de ÉL no te puede venir más que el bien ... Omnia in bonum! >>
(San Josemaría Escrivá de Balaguer).*

DE MANERA ESPECIAL QUIERO DEDICAR ÉSTE TRABAJO DE GRADUACIÓN A DIOS Y A LILLIAM MOLINA, MI MADRE.

Agradecimientos:

A DIOS, MI PADRE INFINITAMENTE MISERICORDIOSO: Que es el motor de mi vida y el motivo de mi felicidad, por prestarme la vida, darme salud, fortaleza, la oportunidad de alcanzar esta meta y de seguir adelante.

A MIS PADRES, LILLIAM Y FRANCISCO: Por su amor, apoyo, consejos y palabras de ánimo.

A MIS HERMANOS, PATTY Y FRANK: Por su comprensión y por estar a mi lado siempre.

A DORIS MAGAÑA: Que es como mi segunda madre, por todo su apoyo.

A MIS MAESTROS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS: Por transmitirnos sus conocimientos y experiencias, por su amistad. Gracias Ing. Eugenia Gamero, Ing. Delmy Rico, Ing. Tania Torres, Ing. Noemy Laínez, Ing. Ceci de Flamenco, Ing. Sara Orellana, Lic. Xochilt de Villatoro, Lic. Ana de Ruiz, Ing. Francisco Arévalo, Ing. Teodoro Ramírez, Ing. Juan Ramírez.

A ING. BESSY SOTO, LIC. REGINA CORTEZ, RUTH MÉNDEZ Y DOC. ENRIQUE BARRAZA: Por la orientación y enseñanza, pero sobre todo por la motivación, amistad y apoyo recibido.

A MIS ASESORES, ING. EUGENIA GAMERO E ING. ÁLVARO AMAYA: Por brindarnos sus conocimientos, palabras de ánimo y ser nuestros guías para culminar esta meta.

A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO DE GRADUACIÓN, MARÍA ELENA Y ABDALÁ: Quienes lucharon incansablemente junto a mí, por lograr este fin. Gracias por su paciencia y amistad. Los quiero mucho.

A MIS AMIGOS Y A MI NOVIO: Por su cariño, consejos, paciencia, días completos de estudio, apoyo y solidaridad. En especial a Rodrigo Vásquez, Mónica Comayagua, Evelyn Henríquez, Karen Chávez, Roberto Cuellar, Fidel Velásquez, Bessy Ramírez, Jenny Soto, María Elena Mejía, Abdalá Reyes, Ingrid Rodríguez, David Galicia, Edwin Aquino y muchos otros cuyos nombres no menciono pero que están en mi corazón.

Liliana Margarita Chávez Molina.

RESUMEN

La investigación realizada consiste en determinar de forma general la calidad de agua de la Bahía de Jiquilisco, por lo que el estudio se enfocó primeramente en la investigación biofísica y socioeconómica de la región que rodea dicha Bahía; para conocer el sector de interés, posteriormente se realizó un muestreo de aguas durante los meses de marzo a mayo del año 2012.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras extraídas del cuerpo de agua en estudio fueron evaluados a través del CCME-WQI, que es un índice desarrollado por el Consejo Canadiense del Ministerio del Medio Ambiente para determinar la calidad de agua desde una perspectiva general.

Para la determinación de dicho índice, se evaluó la temperatura del agua, el pH, la salinidad, la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto (OD), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), los sólidos suspendidos totales (SST) y sedimentable (SS), en cinco estaciones fijas de muestreo del sector de la Bahía de Jiquilisco.

Los resultados de la medición de salinidad reflejan que los menores valores se encuentran en la estación de muestreo ubicada en Puerto Avalos y Bocana del Rio Grande de San Miguel, con rangos promedios entre 0.5 a 6 unidades prácticas de salinidad (ups) y en las demás estaciones de muestreo (Vuelta Redonda, Puerto Parada y Puerto El Triunfo) se obtuvieron rangos de salinidad mayores, entre 27 a 31 ups.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de las mediciones obtenidas en todas las campañas de muestreo:

	Parámetros Fisicoquímicos					
	Temperatura de la muestra (°C)	pH	OD (mg/L)	DBO5 (mg/L)	SS (ml/L)	SST (mg/L)
Mínimo	25.00	6.67	1.98	0.47	0.01	13.00
Máximo	32.20	7.58	7.95	5.92	0.30	126.50
Promedio	30.04	7.23	5.06	5.06	0.13	59.83

El parámetro de mayor peso en la evaluación del índice de calidad de agua, es la DBO₅, razón por la que se validó esta variable para obtener resultados más confiables, dicha evaluación se resume en el siguiente cuadro:

Prueba Estadística (ANOVA, $p < 0.05$)	Resultados Promedios (2.5 mg/L) Nivel Bajo	Resultados Promedios (5 mg/L) Nivel Medio	Resultados Promedios (10 mg/L) Nivel Alto
F Tabulado	3.9715	3.9715	3.9715
F Experimental	1.030	0.470	0.479
Conclusión	Cumple	Cumple	Cumple

Los principales factores que modifican la calidad de las aguas de la Bahía de Jiquilisco son: La confluencia del Río Grande de San Miguel y otros ríos de menor caudal que drenan sus aguas en dicho sector y que transportan gran cantidad de contaminantes (aguas negras de tipo ordinarias, pesticidas, desechos sólidos urbanos, etc.) y la influencia de las mareas que varían la concentración de dichos contaminantes en las aguas marino-costeras de la Bahía de Jiquilisco.

Por lo que se propone una metodología de muestreo, validación del método de análisis de DBO_5 y la evaluación del índice de calidad de agua, para la construcción de una línea base que determina el estado del cuerpo de agua en estudio, y la aplicabilidad de estos métodos y análisis en otras zonas marino-costeras de El Salvador.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	i
<i>CAPÍTULO I</i>	1
1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO, SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA, TEORÍA DE VALIDACIÓN E ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	1
1.1.1 RESEÑA HISTÓRICA DEL MUNICIPIO DE JIQUILISCO	2
1.1.2 CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS DE LA REGIÓN	3
1.1.3 BIODIVERSIDAD DE LA BAHÍA DE JIQUILISCO.....	10
1.1.4 ECOSISTEMAS DE LA BAHÍA DE JIQUILISCO	19
1.1.5 ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA BAHÍA DE JIQUILISCO	26
1.2 SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA.....	28
1.2.1 ADMINISTRACIÓN.....	29
1.2.2 POBLACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO	31
1.2.3 ECONOMÍA.....	34
1.3 TEORÍA DE VALIDACIÓN	39
1.3.1 CUÁNDO REALIZAR UNA VALIDACIÓN.....	41
1.3.2 CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS	42
1.3.3 ALGORITMO DE VALIDACIÓN (ASPECTOS LOGÍSTICOS).....	44
1.3.4 REQUERIMIENTOS ANALÍTICOS Y CARACTERÍSTICAS DE RENDIMIENTO RELACIONADAS	45
1.3.5 ESTABLECIMIENTO DEL ALCANCE DE LA VALIDACIÓN	46
1.3.6 PARÁMETROS DE RENDIMIENTO Y DE CARACTERIZACIÓN DEL MÉTODO	51
1.3.6.1 SELECTIVIDAD/ESPECIFICIDAD	51
1.3.6.2 ESTABILIDAD ANALÍTICA DE LA MUESTRA.....	53
1.3.6.3 LINEALIDAD DEL MÉTODO.....	54
1.3.6.4 INTERVALO O RANGO	57
1.3.6.5 EXACTITUD.....	58
1.3.6.6 PRECISIÓN.....	59

1.3.6.7	LÍMITE DE DETECCIÓN Y LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	60
1.3.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	60
1.4	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	65
1.4.1	DEFINICIÓN DE CALIDAD DE AGUA	65
1.4.2	AGUA CRUDA O EN ESTADO NATURAL (SIN TRATAMIENTO).....	66
1.4.3	PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR.....	67
1.4.4	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	69
1.4.5	DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA CANADIENSE CCME WQI.....	74
 <i>CAPÍTULO II</i>		 77
2.	MARCO LEGAL.....	77
2.1	LEGISLACIÓN DE EL SALVADOR.....	77
2.1.1	LEY DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS. DECRETO LEGISLATIVO Nº 579 TOMO Nº 366.....	82
2.2	LEGISLACIÓN EXTRANJERA.....	85
2.3	OBJETIVOS A UTILIZAR EN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO.....	92
 <i>CAPÍTULO III</i>		 93
3.	FUENTES CONTAMINANTES Y METODOLOGÍA DE MUESTREO PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO.....	93
3.1	CONTAMINACIÓN DEL CUERPO DE AGUA.....	93
3.2	FUENTES CONTAMINANTES Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	94
3.3	LOGÍSTICA DE MUESTREO PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO	96
3.4	MUESTREO EXPLORATORIO.....	98
3.5	PROTOCOLO DE MUESTREO PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO	105
3.6	MEDICIÓN DE PARÁMETROS EN CAMPO.....	109
3.7	CONTROL DE CALIDAD DEL MUESTREO EN CAMPO	112
3.8	PRESERVACIÓN, ETIQUETADO Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS.....	113
3.9	CADENA DE CUSTODIA EN CAMPO.....	114
3.10	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO	115

<i>CAPITULO IV</i>	126
4. VALIDACIÓN ANALÍTICA DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)....	126
4.1 PROTOCOLO DE VALIDACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅) EN AGUA SALOBRE.....	128
4.2 REALIZACIÓN DE LA VALIDACIÓN.....	133
4.2.1 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN.....	133
4.2.2 RESULTADOS.....	134
4.2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	146
4.2.3.1 NIVELES DE FORTIFICACIÓN PARA BLANCOS Y MUESTRAS.....	147
4.2.3.2 ANÁLISIS DE BLANCOS FORTIFICADOS NIVEL BAJO.....	150
4.2.3.3 ANÁLISIS DE BLANCOS FORTIFICADOS NIVEL MEDIO.....	157
4.2.3.4 ANÁLISIS DE BLANCOS FORTIFICADOS NIVEL ALTO.....	162
4.3 INFORME DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE DBO ₅ EN MATRIZ DE AGUA SALOBRE.....	166
 <i>CAPÍTULO V</i>	 170
5. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO POR MEDIO DEL MÉTODO DE CRITERIOS CANADIENSE ICA CCME.....	170
5.1 CONSIDERACIONES PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA SALADA (ICA) POR MEDIO DEL MÉTODO DE CRITERIOS CANADIENSE ICA CCME.....	171
5.2 PROCEDIMIENTO APLICADO PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DE MAR (ICA) POR MEDIO DEL MÉTODO DE CRITERIOS CANADIENSE ICA CCME.....	172
5.3 RESULTADOS.....	180
5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	189
 CONCLUSIONES.....	 193
 RECOMENDACIONES.....	 195
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 197
 GLOSARIO.....	 201

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1: Componentes del agua de mar según sus fases.....	10
Cuadro 1.2: Clasificación del oleaje.....	14
Cuadro 1.3: Escala Douglas.....	14
Cuadro 1.4: Cobertura del bosque de manglar de la costa Pacífica y Atlántica de Latinoamérica y El Caribe.....	22
Cuadro 1.5: Organismos Observados y Registrados en Bahía de Jiquilisco.....	27
Cuadro 1.6: Población por Municipios en la Bahía de Jiquilisco 1992-2002.	31
Cuadro 1.7: Número de habitantes por cantón pertenecientes a la Bahía de Jiquilis.....	32
Cuadro 1.8: Densidad Poblacional de los Municipios de la Bahía de Jiquilisco, 2010	33
Cuadro 1.9: Población Urbana de los Municipios de la Bahía de Jiquilisco, 2010.....	34
Cuadro 1.10: Tipos de peces, moluscos y crustáceos para el comercio, por puntos de pesca según el JICA, 2001.....	36
Cuadro 1.11: Parámetros de rendimiento relacionados según el requerimiento analítico. ...	46
Cuadro 1.12: Objetivos de la validación según el tipo de procedimiento de ensayos.....	47
Cuadro 1.13: Alcance de la validación según el tipo de procedimiento de prueba. Métodos Normalizados.....	48
Cuadro 1.14: Alcance de la validación según el tipo de procedimiento de prueba. Métodos No Normalizados	49
Cuadro 1.15: Alcance de la validación según el tipo de procedimiento de prueba. Métodos de Desarrollo Interno.	50
Cuadro 1.16: Rangos según el propósito de método cuantitativo (Guía ICH Q2A).	56
Cuadro 1.17: Determinación del Límite de Cuantificación de las muestra	58
Cuadro 1.18: Verificación de la veracidad de un material de referencia.	59
Cuadro 1.19: Composición de solutos sólidos del agua de mar, expresado en porcentaje..	68
Cuadro 2.1: Marco Legal de El Salvador, para el Manejo de los Recursos Hídricos.....	80
Cuadro 2.2: Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas.....	85
Cuadro 2.3: Límites máximos permisibles de las sustancias potencialmente tóxicas para las seis clases de agua	87
Cuadro 2.4: Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas.....	87

Cuadro 2.5: Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM)	88
Cuadro 2.6: Valores máximos permisibles de las descargas de efluentes líquidos a cuerpos receptores.....	89
Cuadro 2.7: Criterios de Calidad de Aguas para la Preservación de Flora y Fauna en aguas Marinas y de Estuario: Límites Máximos Permisible	90
Cuadro 2.8: Establecimiento Emisor.....	91
Cuadro 2.9: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litora	91
Cuadro 2.10: Resumen de los Límites Máximos Permisibles de parámetros indicadores de contaminación en Agua de Mar, contemplados en la Legislación Extranjera, 2012.....	92
Cuadro 3.1: Primera estación de muestreo de la Bahía de Jiquilisco del Departamento de Usulután, 2012.....	100
Cuadro 3.2: Segunda estación de muestreo de la Bahía de Jiquilisco del Departamento de Usulután, 2012.....	101
Cuadro 3.3: Tercera estación de muestreo de la Bahía de Jiquilisco del Departamento de Usulután, 2012.....	102
Cuadro 3.4: Cuarta estación de muestreo de la Bahía de Jiquilisco del Departamento de Usulután, 2012.....	103
Cuadro 3.5: Quinta estación de muestreo de la Bahía de Jiquilisco del Departamento de Usulután, 2012.....	104
Cuadro 3.6: Equipo utilizado durante el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco, 2012.	105
Cuadro 3.7: Materiales utilizados durante el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco, 2012. ...	106
Cuadro 3.8: Preservación y Almacenamiento de Muestras	113
Cuadro 4.1: Parámetros de estudio y criterios de aceptación del método.....	131
Cuadro 4.2: Pruebas para la Determinación de la Curva de Calibración	134
Cuadro 4.3: Evolución de las Curvas de Calibración para la Validación de la DBO ₅	135
Cuadro 4.4: Cálculo de la Cantidad de Solución Patrón a Utilizar	138
Cuadro 4.5: Resultados de la Repetición 1 para el Análisis de DBO ₅ en Agua Salobre.....	138
Cuadro 4.6: Resultados de la Repetición 2 para el Análisis de DBO ₅ en Agua Salobre.....	139
Cuadro 4.7: Resultados de la Repetición 3 para el Análisis de DBO ₅ en Agua Salobre.....	140
Cuadro 4.8: Resultados de la Repetición 4 para el Análisis de DBO ₅ en Agua Salobre.....	141

Cuadro 4.9: Resultados de la Repetición 5 para el Análisis de DBO ₅ en Agua Salobre.....	142
Cuadro 4.10: Resultados de la Repetición 6 para el Análisis de DBO ₅ en Agua Salobre...	143
Cuadro 4.11: Resultados de la Repetición 7 para el Análisis de DBO ₅ en Agua Salobre...	144
Cuadro 4.12: Promedio de los Resultados de la Curva de Calibración para el Análisis de DBO ₅ .	145
Cuadro 4.13: Concentración real de la DBO ₅ obtenida en las repeticiones 1 y 2 por medio de la ecuación de regresión del método.	149
Cuadro 4.14: Concentración real de la DBO ₅ obtenida en las repeticiones 3 y 4 por medio de la ecuación de regresión del método.....	148
Cuadro 4.15: Concentración Real de la DBO ₅ Obtenida en las Repeticiones 5 y 6 por Medio de la Ecuación de Regresión del Método.....	149
Cuadro 4.16: Concentración Real de la DBO ₅ Obtenida en la Repetición 7 por Medio de la Ecuación de Regresión del Método.	149
Cuadro 4.17: Blancos Fortificados Nivel Bajo	151
Cuadro 4.18: Recuperaciones calculas en tanto por uno para el Nivel Bajo.	153
Cuadro 4.19: Suma de los Cuadrados entre Grupos, Nivel Bajo.	154
Cuadro 4.20: Suma de los Cuadrados o Varianza Total, Nivel Bajo.	155
Cuadro 4.21: Blancos Fortificados, Nivel Medio	158
Cuadro 4.22: Estimación del límite de detección y cuantificación, Nivel Medio.....	158
Cuadro 4.23: Límites del Rango Calculado y Esperado, Nivel Medio.	169
Cuadro 4.24: Recuperaciones calculas en tanto por uno para el Nivel Medio.	169
Cuadro 4.25: Suma de Cuadrados entre Grupos, Nivel Medio.	161
Cuadro 4.26: Suma de Cuadrados o Varianza Total, Nivel Medio.	161
Cuadro 4.27: Análisis de Varianzas, Nivel Medio.	161
Cuadro 4.28: Blancos Fortificados Nivel Alto.....	162
Cuadro 4.29: Estimación del Límite de Detección y Cuantificación, Nivel Alto.....	163
Cuadro 4.30: Límites del Rango Calculado y Esperado, Nivel Alto.....	163
Cuadro 4.31: Recuperaciones Calculas en Tanto por Uno para el Nivel Alto	163
Cuadro 4.32: Suma de Cuadrados entre Grupos, Nivel Alto.....	165
Cuadro 4.33: Suma de Cuadrados o Varianza Total, Nivel Alto.....	165
Cuadro 4.34: Análisis de Varianzas, Nivel Alto.....	166
Cuadro 4.35: Resultados Obtenidos en las diferentes corridas del método (Expresados como promedios	167

Cuadro 4.36: Análisis Estadístico para Blancos Fortificados	168
Cuadro 5.1: Parámetros Físicoquímicos obtenidos para el Sitio RGS durante los tres monitoreos en la Bahía de Jiquilisco, 2012.	175
Cuadro 5.2: Clasificación de la Calidad del Agua por medio del CCME WQI.	179
Cuadro 5. 3: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer sitio de muestreo de la Bahía de Jiquilisco, “Desembocadura del Río Grande de San Miguel”, 2012.	180
Cuadro 5.4: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer sitio de muestreo de la Bahía de Jiquilisco, “Vuelta Redonda”, 2012.	181
Cuadro 5.5: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer sitio de muestreo de la Bahía de Jiquilisco, “Puerto Parada”, 2012.	182
Cuadro 5.6: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer sitio de muestreo de la Bahía de Jiquilisco, “Puerto Ávalos”, 2012.	183
Cuadro 5.7: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer sitio de muestreo de la Bahía de Jiquilisco, “Puerto El Triunfo”, 2012.	184
Cuadro 5.8: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer muestreo realizado en la Bahía de Jiquilisco, 2012.	185
Cuadro 5.9: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el segundo muestreo realizado en la Bahía de Jiquilisco, 2012.	186
Cuadro 5.10: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el tercer muestreo realizado en la Bahía de Jiquilisco, 2012.	187
Cuadro 5.11: Resumen del Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para los sitios y muestreos realizados en la Bahía de Jiquilisco, 2012.	188
Cuadro 5.12: Transporte de contaminantes en cuñas marinas.	191

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa Pedológico de la Bahía de Jiquilisco.....	6
Figura 1.2: Mapa Agrológico de la Bahía de Jiquilisco.....	7
Figura 1.3: Mapa Hidrológico de la Bahía de Jiquilisco.....	9
Figura 1.4: Tipos de mareas de acuerdo a la posición de la Luna, la Tierra y el Sol.....	12
Figura 1.5: Sustrato de fondo suave presente en la Bahía de Jiquilisco.	18
Figura 1.6: Estructuras de aireación y de sostén de las raíces de las especies del género: a) Rhizophora, b) Avicennia y c) Pellicierarhizophorae.....	20
Figura 1.7: Tortuga Carey (<i>Eretmochelysimbricata</i>).	24
Figura 1.8: a) Aratuspisonii sobre rama de R. mangle, b) Ophiothrixspiculata, Fondo duro, c) A. troschelii asociado a árbol de R. mangle, d) Encopemicropora, fondo arenoso.....	27
Figura 1.9: Mapa de la red vial y zonas urbanas de la Bahía de Jiquilisco	30
Figura 1.10: Diagrama de desarrollo, validación y ajuste del método analítico.	44
Figura 3.1: Tubería rota de aguas negras identificada en el Estero Los Mancornados cuyo efluente llega directamente a Puerto El Triunfo, sobre todo en mareas altas.....	95
Figura 3.2: Tubería de aguas residuales domesticas identificada en Puerto Avalos cuyo efluente llega al río que drena en las aguas de la Bahía de Jiquilisco.	95
Figura 3.3: Río Grande de San Miguel.	96
Figura 3.4: Ubicación de los puntos de muestreo en la Bahía de Jiquilisco.....	99
Figura 3.5: Acciones previas: Lavado y secado de hieleras. Etiquetado de frascos.	115
Figura 3.6: Revisión, verificación y calibración del equipo de medición multiparámetros... ..	116
Figura 3.7: Revisión y verificación de equipos de muestreo, Botella de Van Dorn.....	116
Figura 3.8: Muelle de Puerto Parada.....	117
Figura 3.9: Recorrido hacia la desembocadura del RGS en la Bahía de Jiquilisco.	118
Figura 3.10: Obtención de la muestra utilizando la botella de Van Dorn.....	119
Figura 3.11: Llenado de frasco.....	119
Figura 3.12: Medición de parámetros in situ.	120
Figura 3.13: Presencia de espumas superficiales y hojarasca en VR.....	121
Figura 3.14: Actividad comercial en PP.....	121
Figura 3.15: Marea baja en PA.....	122
Figura 3.16: Toma de muestra en PA.....	123
Figura 3.17: Medición de parámetros insitu en PT.....	124

Figura 3.18: Metodo winkler para la determinación de OD.	125
Figura 4.1: Metodología Analítico de la DBO ₅	133
Figura 4.2: Curva de Comportamiento de la DBO ₅ a Diferentes Concentraciones.....	134
Figura 4.3: Curva de Calibración 1	139
Figura 4.4: Curva de Calibración 2	140
Figura 4.5: Curva de Calibración 3	141
Figura 4.6: Curva de Calibración 4	142
Figura 4.7: Curva de Calibración 5	143
Figura 4.8: Curva de Calibración 6	144
Figura 4.9: Curva de Calibración 7	145
Figura 4.10: Curva de Calibración Promedio Obtenida para el Análisis de DBO ₅	146
Figura 4.11: Tabla <i>F</i> crítico.....	157
Figura 4.12: Curva de Calibración Promedio en el Proceso de Validación, 201	167
Figura 5.1: ICA por Sitio de Muestreo.....	189
Figura 5.2: Ciclo Biogeoquímico de contaminantes en estuarios.....	190
Figura 5.3: ICA por Campaña de Muestreo.	192

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Bahía de Jiquilisco, Segundo Sitio Ramsar de El Salvador.....	207A
Anexo B: Red Hidrográfica de La Bahía De Jiquilisco	209A
Anexo C: Densidad Poblacional y Población Urbana del Departamento de Usulután en el período del 12 al 27 de Mayo del 2007.....	212A
Anexo D: Mapa Ecológico, Sistemas de Zonas de Vida de Holdridge (J.Tosi y G.Harthorn, 1978), MARN 2004.....	216A
Anexo E: Equipo utilizado en el muestreo de aguas realizado en la Bahía de Jiquilisco..	217A
Anexo F: Material utilizado en el muestreo de la Bahía de Jiquilisco y el laboratorio de calidad de aguas del MARN.	219A
Anexo G: Manual del Medidor Multiparámetro Portátil Sension156, HACH.	223A
Anexo H: Etiquetas para Frascos de Muestreo de Agua Salada.	236A
Anexo I: Ejemplo de Cadena de Custodia para Muestras.....	237A
Anexo J: Equipo utilizado en el laboratorio de calidad de aguas del MARN.	238A
Anexo K: Hojas de Seguridad de los Reactivos de Validación	239A
Anexo L: Análisis de Laboratorio para la Obtención del ICA en La Bahía De Jiquilisco...	243A

INTRODUCCIÓN

La zona costero-marina de El Salvador es una de las más afectadas por la contaminación debido al aumento de la poblacional aledaña y al drenaje de la gran mayoría de ríos que llevan consigo una gran cantidad de contaminantes; todo esto provoca un impacto ambiental severo, sobre todo en la región oriental de El Salvador, específicamente en la Bahía de Jiquilisco, que es una de las zonas más ricas en fauna y flora que se ven afectadas directamente por la contaminación de sus aguas.

Los estudios para la determinación de contaminantes se basan en la evaluación del Índice de Calidad de Aguas, que en base a diferentes criterios se puede determinar el estado actual del cuerpo de agua en estudio, y así poder implementar medidas correctivas y preventivas para salvaguardar el buen estado del cuerpo de agua y el ambiente de la zona costero-marina de la Bahía de Jiquilisco.

La conservación de los recursos hídricos es de gran importancia en el desarrollo de un país. En El Salvador es urgente desarrollar estrategias que permitan un manejo sustentable del recurso hídrico costero-marino.

En el presente estudio se determina y analiza la calidad de las aguas de la Bahía de Jiquilisco desde una doble perspectiva: la calidad intrínseca del agua por medio de un índice de calidad de agua basado en el análisis de criterios Canadiense (CCME WQI) y la calidad de agua para los usos a los que ésta se destine, los resultados estarán sustentados por la validación analítica de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) la cual determina de forma directa la carga orgánica presente en el cuerpo de agua en estudio.

Es necesario mencionar que este documento es el resultado de la revisión sistemática de la bibliografía existente, tanto en las características biofísicas de la región, así como la población, su situación economía, división política, administración y reseña histórica propia del municipio. También se describen los parámetros fisicoquímicos a tomar en la red de puntos de muestreo, y el tipo de análisis que se realizará posteriormente para obtener resultados confiables y precisos, a la hora de diagnosticar la calidad de las aguas del sector en estudio.

CAPÍTULO I

1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO, SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA, TEORÍA DE VALIDACIÓN E ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de Jiquilisco constituye la mayor extensión de agua salobre y bosque salado de El Salvador, está formada por numerosos esteros y canales, barras de arena y playas, un numeroso conjunto de islas de diverso tamaño, un complejo lagunar de agua dulce y bosques estacionalmente saturados conectados con el manglar.

La Bahía de Jiquilisco fue declarada Humedal de Importancia Internacional por la Convención Ramsar el 31 de Octubre de 2005, convirtiéndose así en el segundo humedal para El Salvador y el número 1586 para la Convención Ramsar, ya que constituye la mayor extensión perenne de hábitats de humedales en El Salvador. (36)

El área natural protegida se ubica en el departamento de Usulután en los municipios de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, Usulután, San Dionisio, Concepción Batres y Jucuarán. La superficie del Humedal comprende 31,699 hectáreas a una altitud de 0 m.s.n.m. Su región hidrográfica se encuentra entre los ríos Lempa y Grande de San Miguel. (36)

Igualmente sirve como refugio para varias especies amenazadas entre las que se encuentran:

a) Especies de flora prioritaria (amenazadas o endémicas):

En la zona de bosque semi-saturado aparecen árboles de mangle dulce, especie que se encuentra únicamente en unos pocos bosques inundables del país y que está protegida por la legislación de Nicaragua y México. “El mangle rojo gigante es especialmente raro en el país” (34) y el casco de burro está considerado como en peligro de extinción en El Salvador.

b) Especies de fauna prioritarias (amenazadas o endémicas):

La bahía de Jiquilisco sirve como refugio de dos especies de caimanes y cocodrilos catalogados como en peligro de extinción en El Salvador, estos son el cocodrilo americano y el caimán.

En las playas de la península de San Juan del Gozo, Isla San Sebastián, Isla Madresal y El Espino, además de algunos sectores del interior de la Bahía, se ha confirmado el anidamiento de las tortuga verde, tortuga Carey, tortuga Golfina y tortuga Baule, todas ellas consideradas en peligro de extinción en el país. (34)

Sobre los bienes y servicios, este sitio Ramsar contribuye al control de inundaciones, depuración y almacenamiento de aguas, producción pesquera, producción de madera, recarga de acuíferos, fijación de carbono y regulación climática, protección y estabilización de la línea de costa y belleza escénica. (36)

1.1.1 RESEÑA HISTÓRICA DEL MUNICIPIO DE JIQUILISCO

El municipio de Jiquilisco o Xiquilisco se fundó en la época precolombina por tribus Lencas cerca de la Bahía del Espíritu Santo.

En el idioma potón hablado por las tribus Lencas, Xiquilisco significa “hombres de xiquilit”, pues proviene de las raíces xiquilit, índigo, jiquilite (planta de la cual se extrae la tinta anual o tinta añil); e ixco, hombre. La palabra “Jiquilisco” es traducida como el “pueblo de los hombres que cultivan el índigo y benefician el añil”. (3)

En el año de 1550, el pueblo de Jiquilisco era uno de los más importantes de la zona oriental de El Salvador y tenía alrededor de mil habitantes. En el año de 1770, “Jiquilisco” era un pueblo anexo al curato del departamento de Usulután y en 1786 ingresó al partido o distrito del departamento de Usulután. En el año de 1824, entró a formar parte del departamento de San Miguel, y en 1865 al departamento de Usulután.

Por decreto legislativo con fecha del 14 de febrero de 1874, se le otorgó el título de villa. El intenso desarrollo de su industria salinera, su considerable movimiento comercial y el florecimiento de su agricultura, fue premiado durante la época del Presidente Dr. Pío Romero Bosque, de tal forma que se le otorga el título de ciudad en el año de 1928.

El tipo de cultivo predominante del municipio eran los granos básicos (maíz y maicillo), cítricos, cocos, mangle y pastos. El maíz y maicillo ocupaban grandes áreas de las planicies y faldas de las colinas, pero su principal rubro era el algodón, ya que es un cultivo idóneo por la calidad de tierras, clima y precipitación.

La parte costera de Jiquilisco, caracterizada por su alto riesgo a las inundaciones, se dedicó a partir de 1950 al cultivo de algodón protegido por bordas.

El algodón logró su desarrollo gracias a la erradicación de la malaria y de las plagas, a la disminución de las importaciones de productos manufacturados desde Europa debido a la Segunda Guerra Mundial y a la construcción de la Carretera Litoral y del ferrocarril.

Con el auge del algodón en la zona costera del departamento de Usulután, se modificó la estructura agraria, de tal forma que entre el año de 1950 y 1980 existían: Campesinos sin tierra que vivían en los pueblos y eran jornaleros de las algodonerías, colonos que vivían y trabajaban en las haciendas algodonerías, y los algodoneros que eran los propietarios de las haciendas.

El cultivo del algodón provocó una fuerte migración de campesinos desde la zona norte de El Salvador hacia la zona costera.

Los municipios de Jiquilisco y Jucuarán, eran consideradas las principales zonas productoras de algodón de El Salvador. Las llanuras costeras al sur de la Carretera Litoral estaban ocupadas por grandes haciendas de algodón, caña de azúcar y ganadería de engorde.

El municipio Jiquilisco fue de mucho movimiento comercial, especialmente en los alrededores del cantón San Marcos Lempa, lugar donde el comercio tuvo un gran auge.

1.1.2 CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS DE LA REGIÓN

La Bahía de Jiquilisco forma parte de la planicie costera localizada en el extremo sur de El Salvador, discurriendo en colindancia y paralelamente a la costa del océano Pacífico. Posee un formato longitudinal con disposición O-E; una anchura, entre la costa del Océano Pacífico y el interior del continente Americano, que oscila entre los 5 km (entre la cordillera Jucuarán y la costa, río Murguía) y 40 km (estuario del río Lempa).

Este ecosistema puede considerarse como laguna costera dada la influencia que, ríos como el Lempa y Grande de San Miguel además de otros de menor caudal, provocan al desembocar sus aguas en la Bahía generando una mezcla de aguas dulces y saladas (agua salobre) lo que suscita una gama de hábitats en los que se da una mayor diversidad.

Por lo tanto, existe en la zona una gran cantidad de cursos de agua entre las dos regiones que en la temporada de lluvias y sobre todo en su etapa más fuerte, de julio a septiembre, pueden provocar serias inundaciones por desbordamiento de los ríos Lempa y Grande de San Miguel provocando pérdidas de cosechas y recursos, aparte de los que pueden ocasionar por sí mismos los numerosos ríos temporales que se forma como consecuencia de los fuertes aguaceros y dado que en las partes más llanas de suelos arcillosos de poca infiltración se favorecen estas inundaciones.

La zona de vida de mayor incidencia dentro del sector y que afecta más directamente a la Bahía de Jiquilisco es la zona de Bosque Húmedo Subtropical que es la más extensa en El Salvador, con una temperatura promedio de 24°C y de 22°C en las partes más elevadas. De cualquier manera la biotemperatura media anual, hasta el 2004, no llegaba a sobrepasar los 24°C.

En zonas del interior, hay enclaves de bosque húmedo subtropical en transición a húmedo tropical. Se dan zonas con características de bosque húmedo subtropical con transición a tropical y en la zona extrema de la cuenca del San Miguel hacia el norte hay una zona de bosque seco tropical en transición a bosque seco subtropical.

La vida silvestre tiene una alta representatividad en la Bahía de Jiquilisco, desde el área de manglar pasando a los boques estacionalmente inundables o a los bosques secos tropicales, a pesar que con el paso del tiempo se ha producido la desaparición de especies antes presentes en esta área (proceso ligado a la disminución y fragmentación de los ecosistemas naturales).

Por la diversidad íctica de la Bahía de Jiquilisco, ésta es considerada el estuario más importante de El Salvador en donde se reporta temporalmente más del 80% de las especies marinas y de agua salobre; así como una proporción significativa de las especies hidrobiológicas de agua dulce, destacando las clases peces y crustáceos.

En resumen, se puede decir que la zona de la Bahía de Jiquilisco, representa un alto valor para la vida silvestre que de él se sustenta y cuya destrucción

conllevaría probablemente a la destrucción propia. Sin dejar de lado el potencial turístico de la zona, que bien manejado, supondría un alto valor añadido al de contar con un Área Natural protegida.

Geografía y Geomorfología

El estuario o laguna costera es conocido oficialmente como Bahía de Jiquilisco; se ubica al costado Sur-Oriente de El Salvador en el Departamento de Usulután en las coordenadas: 13° 13' Latitud Norte y 88° 32' Longitud Oeste en la parte central, 13° 15' Latitud Norte y 88° 49' Longitud Oeste en el Sur occidente y 13° 15' Latitud Norte y 88° 21' Longitud Oeste en el extremo nororiental. (8)

En la región existe dominancia de pastos y granos básicos, con pequeños parches cultivados con caña de azúcar, coco, algodón y musáceas. Los bosques naturales quedan limitados a parches dispersos o a las lindes entre las haciendas y al bosque salado presente junto a los esteros.

A lo largo de la historia se ha producido una pérdida de bosque ocasionado principalmente por la expansión del algodón y el avance de la frontera agrícola, que trajo consecuencias para el medio ambiente debido a que en este cultivo se utilizó el 80% del consumo nacional de pesticidas.

El impacto de la contaminación además de afectar los suelos y la producción del mismo producto, contaminó los ríos y esteros, atribuyéndosele de esta forma la disminución de la producción pesquera en la década de los 70's.

Otros factores de pérdida de ecosistemas naturales son el aumento de sistemas productivos acuáticos y los incendios. La pérdida de área forestal es la tendencia histórica más palpable a escala biológica que se aprecia en la región.

Los suelos predominantes son regosoles aluviales, aluviales y grumosotes, entisoles y vertisoles e inceptisoles y entisoles. Sin embargo, no pueden dejarse de lado los suelos latosotes arcillo rojizos y los regosoles y halomórficos que son los suelos que sustentan al mangle. Esta información se detalla en la **Figura 1.1**.

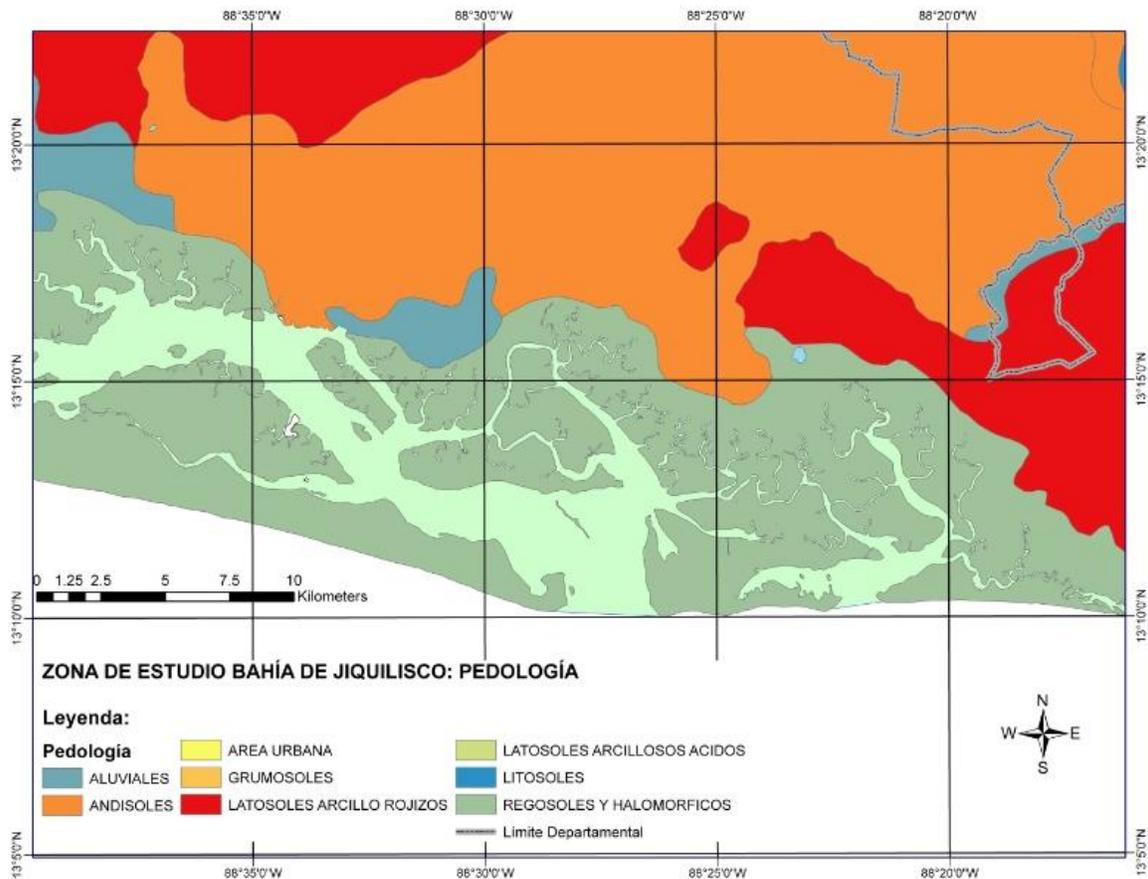


Figura 1.1: Mapa Pedológico de la Bahía de Jiquilisco.

Fuente: Sistema de Información Geográfica. 2010.

En base a especificaciones realizadas por el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN/DGOA, 1998) las categorías de uso de la tierra en el área de la Bahía de Jiquilisco son:

- Clase VII:* Ubicados en la zona de manglar al que sirven de sustrato y con abundante salinidad, lo que los hace inútiles para cultivos.
- Clase III:* Son buenos suelos para cultivo por sus características de drenaje, profundidad y pendiente.
- Clase IV:* Susceptibles de inundaciones por su textura, ocupan el segundo lugar en importancia en la zona aptos para pastos o granos básicos.

Siguen en importancia los de clase II, clase V y clase I. En la zona de los cantones Jocotal, Chilanguera y Olomega existen zonas pantanosas de pastizales herbáceos y tulares; las cuales pueden observarse en la **Figura 1.2**.

Por otro lado, el área representa un potencial productivo de grandes contrastes a la vez que se ha visto beneficiada por los cambios en la producción, al igual que por la disminución de la actividad humana (fundamentalmente por dos hechos trascendentales: la Reforma Agraria y el conflicto armado). Esto ha permitido una situación muy especial tanto para el agro como para las áreas naturales; sin embargo, no se debe perder de vista que son situaciones coyunturales cuya evolución puede ser muy rápida e impredecible.

En este sentido la interrelación estero-manglar constituye un ecosistema acuático aéreo imprescindible para la zona, debido a toda la serie de beneficios y servicios que éste representa.

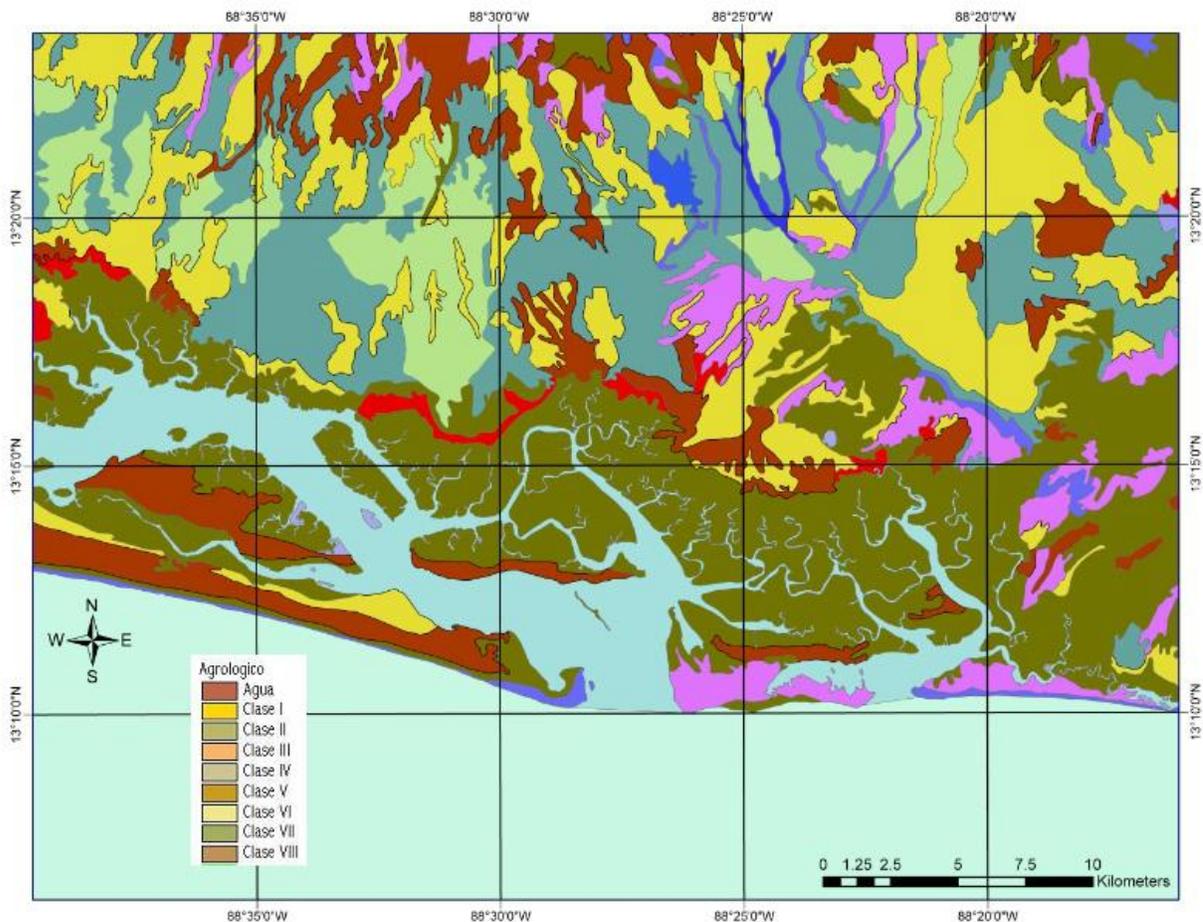


Figura 1.2: Mapa Agrológico de la Bahía de Jiquilisco.

Fuente: Sistema de Información Geográfica. 2010.

Aspectos Hidrológicos

En referencia a la hidrología de la Bahía de Jiquilisco se puede decir que drena una gran cantidad de cuencas hidrográficas que van desde la desembocadura del Río Lempa y las cuencas que forman la bahía, a parte de la del Río Grande de San Miguel.

Estas cuencas hidrográficas se dividen en tres: La del río Lempa (subcuenca de la desembocadura que afecta directamente a la Bahía de Jiquilisco y posee una superficie de 10,674.125 ha), la comprendida entre el río Lempa y el Grande de San Miguel; y la del río Grande de San Miguel. (20)

La cuenca de los Ríos Lempa y Grande de San Miguel está formada por varias subcuencas, es altamente permeable con una cobertura vegetal aceptable, escorrentía superficial media y arrastre de sedimentos. Tiene una superficie de 971 km² y sus ríos principales son: El Espino o Borbollón, El Potrero, Nanachepa, Aguacayo, El Cacao, Chahuantique, El Quebrado y el Molino.

La cuenca del Río Grande de San Miguel tiene una superficie de 2,246.8 km² y su curso principal mide 126.5 km; sus afluentes principales son los ríos: Seco, Villerías, Los Amates, San Antonio, Chávez o Guayabo, San Esteban Taisihuat, Ereaguayín, Papalón, Miraflores y Chilanguera. (20)

La Cuenca de los ríos: El Arco (808 ha), El Convento (1,028 ha), La Ringlera (1,665 ha), Seca (2,109 ha) y Murguía (1,687 ha) tiene una superficie conjunta de 7,277 ha. Son ríos que nacen en las estribaciones del lado sur de la Sierra de Jucuarán, ubicados en las áreas con existencia de bosque tropical seco. (20)

A continuación se encuentra el Río Grande de San Miguel con toda su red de afluentes que desembocan en el Estero El Desagüe. Continúan después los ríos: El Convento, La Ringlera, El Amatillo, Seca y Munguía. En la **Figura 1.3** se detalla el mapa hidrológico de la Bahía de Jiquilisco.

Durante la estación lluviosa, en las partes más llanas de suelos arcillosos de poca infiltración, con las bruscas precipitaciones se forman numerosos ríos temporales que no son aprovechables, favoreciendo serios problemas de inundaciones. El sistema de manglares constituye una barrera natural tanto para el caso de las crecidas de los cauces en la estación lluviosa como para las tormentas tropicales que se forman en el área. La bahía de Jiquilisco está constituida por numerosos esteros, canales y cañones sujetos al efecto de las mareas; donde coinciden zonas de agua dulce, salobre y salada.

En el **Anexo B.1**, se da una relación detallada de los ríos, quebradas y esteros, canales y cañones que constituyen la red hidrológica de la Bahía de Jiquilisco.

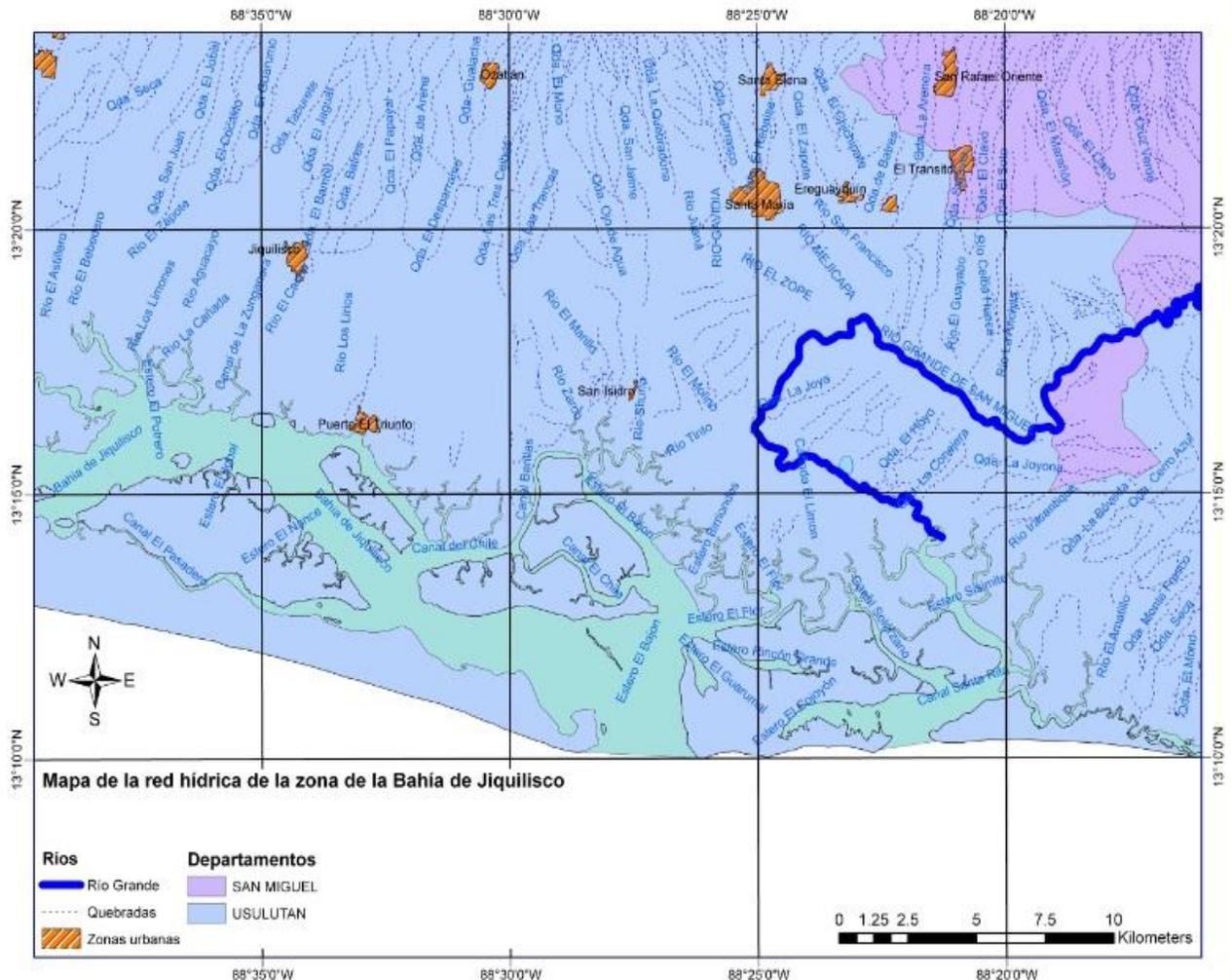


Figura 1.3: Mapa Hidrológico de la Bahía de Jiquilisco.

Fuente: Sistema de Información Geográfica. 2010.

Clima

Es característica de toda la zona en estudio, la presencia de dos estaciones bien marcadas con referencia a las lluvias: época seca y época lluviosa con una duración de seis meses cada una, basada en el régimen monzónico existente.

Los datos climáticos corresponden a los registros recogidos en tres estaciones meteorológicas situadas en los pueblos: Puerto Parada, San Juan del Gozo y Puerto El Triunfo.

Las precipitaciones pueden oscilar entre 1,660 mm en Puerto Parada y 2,019 mm en Jiquilisco. La gran variabilidad de precipitaciones durante el año es importante, siendo crítica en los meses de mayo (comienzo de las lluvias), julio (canícula) y octubre (final de las lluvias). Esta variación puede afectar sobre todo a la primera siembra.

El mismo régimen de lluvias y su variabilidad hace que la zona sufra frecuentes inundaciones debido a la formación de numerosos ríos temporales. Los vientos que soplan normalmente en la zona alcanzan una velocidad promedio de 7 km/h. clasificados como muy débiles.

Las temperaturas medias anuales son de 28.3°C con un máximo de 36°C y siempre con temperaturas medias mensuales superiores a los 20°C. La evapotranspiración media es de 1,944 mm anuales. La humedad relativa promedio es del 70% y la luz solar es de 7.8 h/día. (8)

1.1.3 BIODIVERSIDAD DE LA BAHÍA DE JIQUILISCO

La biodiversidad de la Bahía de Jiquilisco abarca una amplia variedad de seres vivos y patrones naturales que la conforman, resultado de millones de años de evolución según procesos naturales y también de la influencia creciente de las actividades del ser humano. Esta biodiversidad comprende igualmente la variedad de ecosistemas y las diferencias genéticas dentro de cada especie que permite la combinación de múltiples formas de vida, mutuas interacciones con el resto del entorno y fundamentan el sustento de la vida en dicho lugar.

Agua de Mar

El agua de mar es considerada de gran importancia biológica para la vida, particularmente por su densidad, presión osmótica y concentración iónica. Es considerada una solución compleja donde sus diferentes compuestos pueden agruparse, de acuerdo a su naturaleza, en cuatro fases de la siguiente manera:

Cuadro 1.1: Componentes del agua de mar según sus fases.

Sólida	Gaseosa	Coloidal	Solutos Disueltos
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Material inferior a 45µm. ✓ Material orgánico e inorgánico particulado. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nitrógeno ✓ Argón ✓ Xenón ✓ Oxígeno ✓ Bióxido de carbono 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Material inferior a 45µm. ✓ No disueltos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Orgánico ✓ Inorgánico

Fuente: El Ecosistema de Manglar de la Bahía de Jiquilisco: Sector Occidental, 2010.

El agua de mar está compuesta en promedio de un 96.51% de agua y un 3.49% de sustancias disueltas de las cuales el 99.9% se comprende de sodio, magnesio, calcio, potasio, estroncio, cloruro, sulfato, carbonato, bicarbonato, bromuros, ácido bórico, fosfatos, nitratos y silicatos. (27)

La salinidad generalmente varía de 32 a 37 psu (unidades prácticas de salinidad, por sus siglas en inglés) en los océanos con una salinidad media de 35 psu, sin embargo hay diferencias en la salinidad a lo largo del perfil de profundidad incluso en el mismo punto.

En la zona costera y en las áreas donde los ríos se abren hacia el mar formando los esteros, la salinidad es baja sobre todo en aquellos lugares donde se deja de sentir el efecto de las mareas conociéndose sus aguas como salobres, la cual posee entre 0.5 y 30 psu. En estas zonas estuarinas la salinidad presenta una variación estacional notable, generalmente disminuye en la época de lluvias y aumenta en la de sequía.

Las variaciones de salinidad constituyen un efecto electroquímico importante para los organismos marinos, especialmente aquellos que habitan en estuarios y costas rocosas, a quienes ocasionan estrés osmótico y gran esfuerzo de regulación a nivel celular. (27)

Las Mareas

Las mareas son un tipo particularmente importante de movimientos del mar, clasificables como olas de período largo, y desempeñan un papel determinante en la regulación de los procesos vitales y en las comunidades vegetales y animales.

En todas las costas de mares y océanos se produce de manera rítmica un aumento del nivel de las aguas, seguido de una disminución del mismo. A este movimiento vertical se suelen asociar movimientos horizontales (corrientes de marea). El conjunto de ambos movimientos se denomina marea. (13) El período dominante es usualmente de 12 horas 25 minutos, el cual es la mitad de un día lunar. (21)

Los ciclos mareales son causados por el efecto gravitatorio del Sol y la Luna sobre la Tierra, las variaciones en altura y tiempo resultan de las diferentes configuraciones espaciales posibles entre ellos. (27) De igual importancia es el cambio regular en la velocidad y dirección de la corriente.

La causa de que el agua de mar sea desplazada en mareas altas y bajas en el día, se debe a que la Luna y la Tierra rotan en un mismo eje produciendo una fuerza centrífuga que junto con la aceleración gravitacional ocasionan movimiento de masas de agua en dos puntos opuestos (frente a la Luna y al lado contrario). El Sol modifica el movimiento de las masas de agua dependiendo de su alineación gravitacional con la Luna y la Tierra. (27)

A pesar de que la distancia entre la Tierra y la Luna sea el factor más significativo para las mareas, la posición de los tres astros también es de consideración. En Luna Llena, cuando la Luna se encuentra en oposición (la Luna en un lado o extremo, la Tierra en el centro y el Sol en el otro), la fuerza de atracción de ambos se suma y las mareas son más altas. Estas mareas son llamadas mareas vivas o de sicigia. (21)

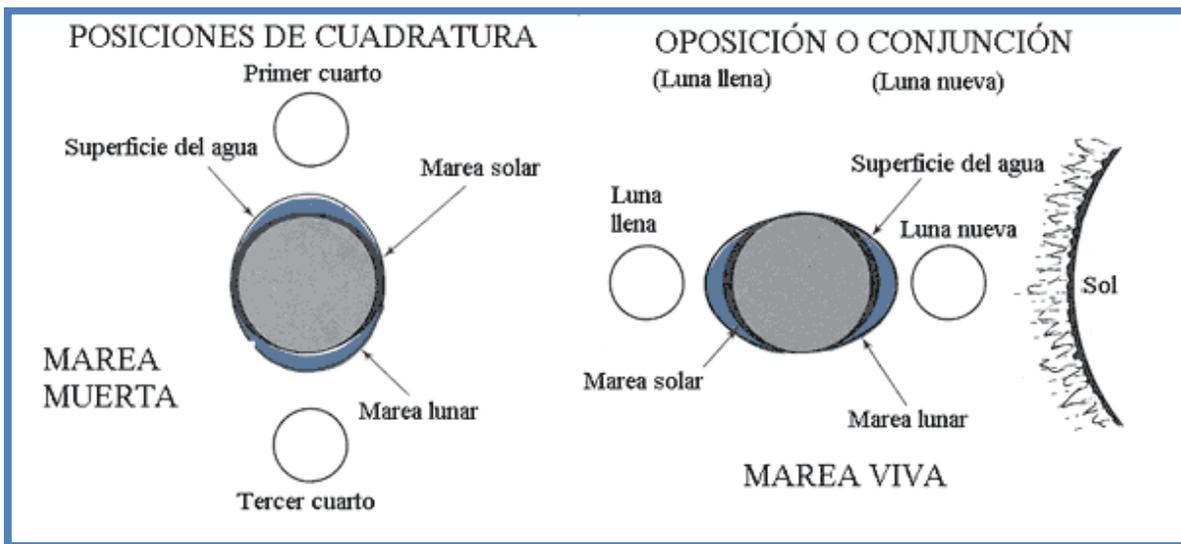


Figura 1.4: Tipos de mareas de acuerdo a la posición de la Luna, la Tierra y el Sol.
Fuente: Almanaque Marino-Astronómico, SON 2012.

Lo mismo sucede en Luna Nueva, cuando la Luna está entre la Tierra y el Sol. Mayor atracción habrá sobre este lado de la Tierra, pero también menor fuerza habrá sobre el otro lado, produciendo una marea alta también aquí por la fuerza centrífuga de la Tierra.

Por el contrario, cuando la Luna está en cuadratura (primer cuarto o tercer cuarto), la fuerza de atracción gravitacional del Sol y la Luna se contrarrestan y las mareas son pequeñas. Estas mareas son llamadas mareas muertas. (21)

Existen además, otras componentes que producen variaciones en el nivel de mar como:

- Movimientos tectónicos de la corteza terrestre,
- Variaciones en la presión atmosférica,
- Apilamiento o retiro de agua por viento que sopla hacia o desde la costa,
- Calentamiento de las aguas por fenómenos como el niño y por calentamiento global.

En general, el ciclo puede ser de tres tipos: mareas diurnas, que comprenden una marea alta y una baja por día; mareas semidiurnas, ocurren dos mareas altas similares en altura; y mareas semidiurnas mezcladas, en la que una de las mareas altas es mayor en relación a la otra. (27)

Las mareas astronómicas del Pacífico están dominadas por la Luna y dado que ésta tarda 24 horas y 50 minutos en dar una vuelta completa a la Tierra, aproximadamente cada 12 horas se produce una marea alta (pleamar) en ambos lados de la Tierra: una cuando la luna esta sobre un punto determinado y la otra cuando está en la posición opuesta. Estas mareas se llaman semidiurnas.

Como la Luna no completa una vuelta durante un día solar (24 horas), los ciclos de mareas (pleamar y bajamar) se retrasan todos los días entre 40 y 50 minutos, lo cual depende del tamaño de las mareas y de la fricción que generan en el fondo. (21)

Viento y Oleaje

El viento, los terremotos y la atracción gravitatoria de la Luna y del Sol son los generadores de olas más importantes en las masas de agua. Cuando el viento sopla sobre la superficie del mar en estado calmo se forman encrespaduras, por lo general de altura inferior a 1cm, con crestas redondeadas y concavidades en forma de V. La dimensión de estas olas depende de la velocidad, de la persistencia y de la distancia desde la que el viento sopla sobre el agua. (13)

El viento es generado por la diferencia de presión atmosférica que a su vez se origina por las diferencias de temperatura y humedad del aire y está organizada en centros de alta y baja presión.

Los vientos se mueven hacia donde la presión es menor y por efecto de la rotación de la tierra hacia la derecha en el Hemisferio Norte. La velocidad de los vientos es mayor cuanto mayor es la diferencia de presión atmosférica.

Las tormentas asociadas a los centros de alta y baja presión atmosférica generan el oleaje cuando los vientos asociados a estos sistemas atmosféricos soplan en una cierta distancia por un período dado.

El oleaje se clasifica de acuerdo a la distancia de la tormenta con respecto al punto de observación, como se muestra en el **Cuadro 1.2**. Cuando el oleaje proviene de tormentas cercanas a este se le conoce como mar local, y cuando proviene de tormentas lejanas se le conoce como mar de leva. (10)

Cuadro 1.2: Clasificación del oleaje.

Altura	Metros	Longitud	Metros	Período	Segundos
Pequeña	<2	Corta	<100	Mar local	$T_p < 10$
Moderada	2-4	Mediana	100-200	Mar de leva	$T_p > 10$
Grande	>4	Larga	>200	-	-

Fuente: Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA), 2012.

La escala aceptada por la Organización Meteorológica Mundial para caracterizar el estado del mar es la escala Douglas, la cual describe el oleaje relacionando su altura con su origen, es decir mar local o mar de leva; en el **Cuadro 1.3** se muestra dicha escala.

Otra escala muy utilizada es la Beaufort que describe el viento relacionando su velocidad con la altura del oleaje y las condiciones en mar y tierra.

Cuadro 1.3: Escala Douglas.

Escala	Altura del oleaje (m)	Descripción del mar local	Descripción del mar de leva
0	0	Llana	Sin olas
1	0-0.10	Rizada	Olas cortas y pequeñas
2	0.10-0.50	Marejadilla	Olas largas y pequeñas
3	0.50-1.25	Marejada	Olas cortas y moderadas
4	1.25-2.50	Fuerte marejada	Olas medianas y moderadas
5	2.50-4.0	Gruesa	Olas largas y moderadas
6	4.0-6.0	Muy gruesa	Olas cortas y grandes

Escala	Altura del oleaje (m)	Descripción del mar local	Descripción del mar de leva
7	6.0-9.0	Arbolada	Olas medianas y grandes
8	9.0-14.0	Montañosa	Olas largas y grandes
9	14	Enorme	Olas de longitud y altura variable

Fuente: DGOA, 2012.

En cuencas limitadas como estuarios y puertos, las olas internas adoptan el carácter de olas estacionarias, análogamente a las secas, causadas por lo general por depresiones barométricas súbitas o por la acción del viento.

En El Salvador el oleaje se puede caracterizar de dos formas como se describe a continuación:

a) Aguas poco profundas:

- El oleaje tiene las siguientes características promedio: altura significativa, 1.2 ± 0.4 m; período, 12.5 ± 2.9 segundos; dirección, $197^\circ \pm 44^\circ$, por lo que se clasifica como de altura pequeña generado por tormentas lejanas localizadas al Sur-suroeste.
- El oleaje tiene períodos de entre 9.6 y 15.4 segundos es decir en su mayoría es mar de leva (período mayor a 10 segundos) de velocidad regular (período entre 8 y 18 segundos).
- El oleaje tiene direcciones entre 153° y 241° es decir en su mayoría proviene del cuadrante Suroeste - Sureste.
- El viento tiene las siguientes características: velocidad del viento, 3.9 ± 2.0 m/s; dirección, $138^\circ \pm 107^\circ$, por lo que se clasifica de brisa suave a brisa moderada proveniente de los cuadrantes Suroeste – Sureste y Sureste - Noreste.
- El viento tiene velocidades entre 1.9 y 5.9 m/s es decir en su mayoría genera oleaje de altura entre 0.1 y 1.3 m.
- El viento tiene direcciones entre 31° y 245° siendo la más frecuente 45° es decir Noreste. (14)

b) Aguas profundas:

- El oleaje tiene las siguientes características: altura significativa, 1.4 ± 0.4 m; período, 12.2 ± 3.3 segundos; dirección, $192^\circ \pm 53^\circ$, por lo que se clasifica como de altura pequeña generado por tormentas lejanas localizadas al Sur-suroeste.
- El oleaje tiene períodos entre 8.9 y 15.5 segundos es decir en su mayoría es mar de leva (período mayor a 10 segundos) de velocidad regular (período entre 8 y 18 segundos).
- El oleaje tiene direcciones entre 139° y 245° es decir en su mayoría proviene del cuadrante Suroeste - Sureste.
- El viento tiene las siguientes características: velocidad del viento, 4.6 ± 2.6 m/s; dirección $142^\circ \pm 107^\circ$, por lo que se clasifica de brisa suave a brisa moderada proveniente de los cuadrantes Suroeste – Sureste y Sureste - Noreste.
- El viento tiene velocidades entre 2.0 y 7.2 m/s es decir en su mayoría genera oleaje de altura entre 0.1 y 1.3 m.
- El viento tiene direcciones entre 35° y 249° siendo la más frecuente 90° es decir Este. (14)

Sin embargo el oleaje tiene distintas características que varían de la estación seca a la lluviosa. La estación seca (intervalo de tiempo con menor precipitación pluvial) son los meses: noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, se tienen las siguientes características principales:

- En aguas poco profundas (nodo 13° N – 88.75° W) la altura significativa del oleaje es 1.1 ± 0.3 m (promedio menor al valor promedio de toda la serie: 1.2), el período promedio es de 11.6 ± 3.8 segundos, la dirección promedio del oleaje tiene una dirección de $188 \pm 60^\circ$ proveniente del Sur. La velocidad del viento es 4.3 ± 2.1 m/s (promedio mayor al valor promedio de toda la serie: 3.9), la dirección del viento más frecuente es de 45° es decir el Este.
- En aguas profundas (nodo 13° N – 90° W) la altura significativa del oleaje es 1.2 ± 0.3 m (promedio menor al valor promedio de toda la serie: 1.4), el período promedio es de 11.3 ± 3.4 , la dirección promedio del oleaje tiene una dirección de $175 \pm 69^\circ$ proveniente del Sur. La velocidad del viento es 5.2 ± 2.8 m/s (promedio mayor al valor promedio de toda la serie: 4.6), la dirección del viento más frecuente es de 45° es decir el Este. (14)

El oleaje es uno de los factores más importantes que modifican la distribución de los organismos y la composición de las especies y comunidades en los litorales. En fondos suaves, el oleaje modela el perfil costero determinando el tipo y distribución de los sedimentos; mientras que en las costas de fondos duros es el principal agente erosivo.

Dependiendo del tipo de costa difiere la distribución de los organismos; por ejemplo, al bajar la marea, en plataformas onduladas, levemente inclinadas se retiene más agua y se evapora lentamente, a diferencia de las costas rocosas escarpadas y lisas que drenan rápidamente.

En las costas donde se da la formación de pozas de marea, los patrones de distribución de las especies cambian considerablemente debido a los efectos de la desecación.

La Costa

Las costas son la línea de contacto entre la masa continental y el océano en las que se define una gran cantidad de diferentes accidentes geográficos, donde se presenta la más diversa gama de hábitat y número de especies.

La distribución de las comunidades de organismos está determinada por tres factores:

- La cantidad e intensidad de las olas,
- El tipo de sustrato (rocosos, arenosos, lodosos o sus combinaciones), y
- La amplitud de las mareas.

Las plantas y animales costeros ocupan micro hábitats usualmente restringidos a zonas determinadas. Desde el punto de vista biológico, se pueden distinguir dos categorías costeras:

a) Costas de fondos duros o rocosos:

El ambiente de un organismo comprende muchos factores que varían constantemente e interactúan para determinar el espacio ocupado por una especie en particular. Entre los factores que afectan la distribución de los organismos en las costas de fondos duros se encuentran:

- La acción de las olas, modifica la concentración de los organismos pudiendo expandir el rango vertical de cada especie, incrementar la biomasa de organismos filtradores en las costas expuestas al oleaje, suprimir la aparición de algunas especies por intolerancia a la acción de las olas o la aparición de pocas especies tolerantes. (27)
- La naturaleza del sustrato, puede influenciar el tipo de organismos vegetales y animales presentes ya que dependiendo de la textura se facilita o inhibe la fijación de algunas especies. (27)
- El flujo y reflujo de la marea, tiene un efecto en la cantidad y calidad de luz y los organismos presentan un patrón de zonación, de acuerdo a las adaptaciones que poseen en relación a la exposición a la luz solar. (27)

b) Costas de fondos suaves o blandos:

Las costas de fondos suaves se han originado por el depósito de partículas provenientes de otras áreas, que son llevadas por las corrientes de agua.



Figura 1.5: Sustrato de fondo suave presente en la Bahía de Jiquilisco.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Los depósitos pueden provenir de la erosión costera o de las zonas altas de las cuencas hidrográficas, como es el caso de las arcillas y limos que son transportadas por los ríos hacia el mar.

El tamaño de las partículas que componen los sedimentos es uno de los parámetros más importantes en la distribución, abundancia y diversidad de la vida costera. (27)

1.1.4 ECOSISTEMAS DE LA BAHÍA DE JIQUILISCO

La Bahía de Jiquilisco representa el área más extensa del manglar del Pacífico Norte Seco de Mesoamérica según el Fondo de Vida Silvestre Mundial. Destaca por ser una zona de producción de recursos pesqueros y sal desde tiempos precolombinos.

El territorio se encuentra subdividido en los siguientes ecosistemas principales:

- Manglares, canales y lagunas
- Bosque tropical seco y sus variantes estacionales
- Litoral Marino arenoso
- Fondos duros
- Pastos Marinos

Ecosistema de Manglar

Según Mainardi (1996), un manglar es un ecosistema dominado por un grupo de especies vegetales típicamente arbóreas que han desarrollado adaptaciones fisiológicas, reproductivas y estructurales que les permiten colonizar áreas anegadas y sujetas a la influencia de las mareas de las costas tropicales y subtropicales protegidas del oleaje.

Se deduce que los mangles tienen en común las adaptaciones que han desarrollado al medio donde viven, crecen en sustratos constituidos por la materia orgánica proveniente de la vegetación del sitio y por sedimentos que son aportados por la descarga de los ríos o el oleaje marino.

Una adaptación común de los mangles a este tipo de ambiente es exponer parte de su sistema radicular a la atmósfera, lo que se denomina “raíces aéreas” y su función es proporcionar oxígeno a la planta y a la zona del sustrato influenciada

por su raíz a partir del oxígeno atmosférico. También se encuentran estructuras de sostén que mantienen erguida a la planta sobre sustratos poco consolidados.

En la **Figura 1.6** se presentan las estructuras de aireación y de sostén de las raíces aéreas del genero *Rhizophora* (mangle gato, mangle rojo o colorado, mangle caballero); el aerénquima de *Pellicierarhizophorae* (mangle piña) y los neumatóforos de las especies del género *Avicennia* (mangle salado). (19)

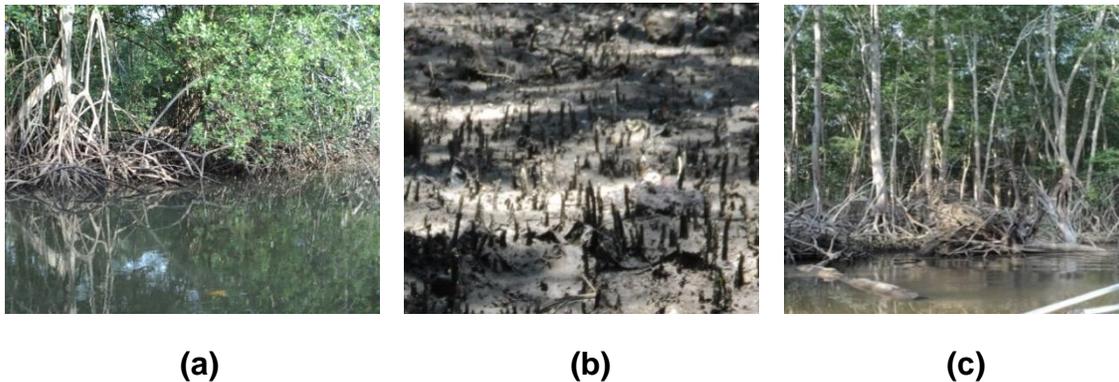


Figura 1.6: Estructuras de aireación y de sostén de las raíces de las especies del género: a) *Rhizophora*, b) *Avicennia* y c) *Pellicierarhizophorae*.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Otra adaptación de los mangles es que su fruto presenta viviparidad, es decir que el embrión germina prematuramente aun cuando el fruto esta unido a la planta madre. Esto se debe a que son susceptibles a la presencia de sales, independientemente de la concentración salina del sustrato.

La viviparidad puede ser completa (en especies del género *Rhizophora*) o incompleta (en especies del género *Avicennia* y *Pelliciera*).

Los mangles presentan también adaptaciones fisiológicas a altas concentraciones de sales, en sus sistemas vasculares y celulares. También pueden agruparse en especies exclusoras (especies del género *Rhizophora*) y especies secretoras (especies del género *Avicennia*), dependiendo de cuál sea su estrategia para regular la presencia de sales. (19)

Según Mainardi (1996), los manglares se distribuyen en las regiones tropicales y el ámbito de distribución latitudinal muestra una estrecha relación con la

temperatura del agua, coincidiendo sus límites con la isoterma invernal de los 20 °C en ambos hemisferios.

También la temperatura atmosférica posee gran influencia sobre el ámbito de distribución latitudinal, los manglares soportan temperaturas menores de 20°C sin embargo alrededor de los 5°C se inhibe el crecimiento de algunas especies.

La costa Pacífica de Centro América tiene una amplia representación de ambientes rudimentarios y en aquellos sitios con amplia escorrentía terrestre, los bosques de manglar alcanzan extensiones importantes como las encontradas en el Estero Jaltepeque, la Bahía de Jiquilisco, el Golfo de Fonseca, el Golfo de Nicoya, el delta Térraba-Sierpe, el Golfo de Chiriquí y el Golfo de San Miguel.

Jiménez (1985), menciona que los rasgos geomorfológicos de la costa Pacífica centroamericana permiten clasificar los manglares en dos grupos principales:

a) Ambientes con fuerte oleaje y barrera arenosa:

En estas áreas sometidas a fuertes oleajes y corrientes de deriva litoral se reacomoda el material en cordones arenosos detrás de los cuales se encuentran extensiones considerables de manglar comunicadas con el océano, a través de una o varias bocas.

Estos ambientes son los más comunes a lo largo de la costa Pacífica de Centro América. Áreas como Barra de Santiago en El Salvador es un ejemplo típico de estos ambientes.

b) Ambientes de bajo oleaje y amplio rango de mareas:

Los manglares ocupan bancos de lodo y limo en las áreas internas de la Bahía de Jiquilisco donde el efecto del oleaje ha sido considerablemente reducido. En estos casos, no se encuentra una barrera física entre el bosque y la masa de agua principal. Sin embargo, durante la marea baja es posible observar en algunos sitios extensos bajos limo-arcillosos frente al bosque.

Los manglares que ocupan el frente de estas formaciones, están generalmente dominados por rodales de *Rhizophora mangle* con escaso desarrollo estructural. En las partes internas, donde la influencia directa de los ríos reduce la salinidad, se encuentra un mayor desarrollo y diversidad del bosque.

Cuadro 1.4: Cobertura del bosque de manglar de la costa Pacífica y Atlántica de Latinoamérica y El Caribe.

Zona Costera	Área de Manglar (x10 ⁶ ha)	%
Costa Atlántica	2.52	55.6
Costa Pacífica	1.21	26.6
Islas Caribeñas	0.81	17.8
Total en América	4.54	100

Fuente: El Ecosistema de Manglar de la Bahía de Jiquilisco: Sector Occidental. Rivera, 2010.

En El Salvador los datos disponibles de cobertura de manglar son limitados, sin embargo en el año 2002 fue realizado un estudio de uso del suelo el cual mostró que los bosques de mangle abarcan un área de 39,154.90 hectáreas representando el 1.74% del país. (12)

Los ecosistemas de manglar son de gran importancia al representar el hábitat para innumerables especies ya que sirven de transición entre los ecosistemas terrestres y marinos; y reduce la incidencia de la luz directa proporcionando un microclima más apropiado para ciertas especies debido a la disminución de la temperatura.

Además se da una producción de hojarasca, detritus y compuestos orgánicos solubles los cuales son aprovechados por organismos que conforman complejas redes alimenticias, retienen sedimentos y sustancias tóxicas transportadas por los cursos de agua, proporcionan protección y estabilización de la línea costera, controlan la escorrentía, erosión, inundaciones y daños causados por tormentas y huracanes.

Debido a las condiciones que ofrecen los manglares son idóneos para la cría, alimentación y desarrollo de estadíos tempranos de moluscos, crustáceos y peces potenciando la pesca artesanal y pesqueras en mar abierto. También se puede mencionar la producción de bienes como leña, carbón y pulpa para papel.

En los últimos años se han desarrollado actividades como el turismo, la apicultura, la producción de sal y la acuicultura.

Finalmente, los manglares proporcionan fuentes de trabajo para muchas personas relacionadas directa o indirectamente. Sin embargo es importante mencionar que toda actividad humana conlleva a un fuerte impacto a través de los años entre los cuales se puede mencionar la pérdida de biodiversidad, la disminución en la

cobertura boscosa (60% según MARN) la cual disminuye su capacidad de amortiguamiento incrementando la contaminación del agua, suelo y aire. Algunas causas que pueden citarse son: la expansión de la frontera agrícola, la contaminación ambiental, la sobrexplotación de recursos de interés comercial, incendios y sequías.

Bosque Tropical Seco y sus Variantes

La vegetación de este ecosistema se encuentra distribuida en sucesiones primarias y secundarias en la planicie costera del departamento de Usulután.

De las sucesiones primarias, se menciona que existen relictos concentrados en algunas zonas incluidas dentro del sistema nacional de áreas protegidas: Nancuchiname, El Tercio (privado), Normandía, Chaguantique, entre otras. En estas áreas se ha confirmado la presencia de colonias del primate *Ateles geoffroyi* (“mono araña”).

Otros vertebrados terrestres escasos que se presentan en el área son: *Canis latrans* (coyote), *Crocodylus acutus* (“cocodrilo”), *Kinosternon scorpioides* (“tortuga de gonce”).

Esas áreas se inundan de aguas lluvias y crecidas de ríos durante la estación lluviosa. La vegetación está caracterizada por *Bravaisia integrifolia* (“mangle de agua dulce”), *Coccolobacaracasana* (“papaturo”), *Prosopis juliflora* (“carbón”), *Ceiba pentandra* (“ceiba”), *Enterolobium cyclocarpum* (“conacaste”), *Pithecellobium dulce* (“mangollano”), *Bactris subglobosa* (“huiscoyol”), entre otras. (27)

Litoral Marino Arenoso

En la Bahía de Jiquilisco, generalmente los litorales arenosos están cercanos al mar donde los niveles de oxigenación y el sedimento arenoso son mayores debido a la intensidad de la hidrodinámica. Se pueden mencionar algunas importantes zonas como Punta San Juan, la isla San Sebastián, bocanas El Bajón y La Chepona.

La zona supralitoral presenta una escasa vegetación adaptada a las altas condiciones de salinidad y temperatura la cual se encuentra amenazada debido a la fragmentación que ocurre en las zonas arenosas del país. Entre las especies vegetales típicas se puede mencionar la *Ipomoea pes-caprae* (“campanilla de

playa”), *Centrusechinatus* (“mozote de caballo”), *Canavalia marítima* (“frijol de playa”).

Parte de la fauna acuática de este ecosistema son: El gusano *Sipunculosnudus*; gastrópodos de la familia Olividae; bivalvos de la familia Donacidae; varios anélidos poliquetos; crustáceos incluyendo anfípodos e isópodos, al menos seis especies de equinodermos y abundantes poliquetos de la familia Onuphidae. (27)

Otro tipo de fauna muy importante en las zonas litorales arenosas son numerosas aves y tortugas carey (*Eretmochelysimbricata*) que anidan en la Bahía de Jiquilisco.



Figura 1.7: Tortuga Carey (*Eretmochelysimbricata*).
Fuente: La Anatomía de las Tortugas Marinas, NOAA 2004.¹

Fondos Suaves

En la bahía de Jiquilisco se han observado constantemente bajos intermareales que son superficies de poca pendiente que quedan expuestas durante períodos de mareas bajas.

Estos ecosistemas se caracterizan por estar sometidos a diferentes períodos de exposición y por presentar substrato fangoso o una mezcla del mismo con arena, ausencia o reducida cobertura vegetal por árboles del manglar.

¹JeanetteWyneken (2004). *La Anatomía de las Tortugas Marinas*. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Existen ciertos bivalvos de importancia alimenticia y comercial en el fango del bosque de manglar con alta demanda en los estuarios del país. Entre los principales se encuentran los *Anadarasimilis* (“curil”) y *A. tuberculosa* (“concha negra”) que son comunes en el fango asociado a *Rhizophora mangle* hasta unos 40 cm de profundidad, *Anadaragrandsis*, *Protothacaasperrima*, *Chionesubrugosa*, *Polymesodainflata*, *Atrina maura*, *Mytella guyanensis*, *Donax dentifer*, cuya distribución depende de factores como salinidad, tipo y tamaño de grano, niveles de oxígeno, etc.

Otros organismos adaptados a este fango con una capa oxigenada muy delgada (<5cm) son los anélidos poliquetos de las familias Amphinomidae, Capitellidae, Hesionidae, Lumbrineridae, Magelonidae, Nereidae, Onuphidae, Orbiniidae, Paraonidae, Pilargidae, Spionidae, Syllidae, entre otras.

Durante la marea baja, se ha observado abundancia de gastrópodos de la familia Potamididae, riqueza de crustáceos, al menos tres diferentes especies no identificadas de anémonas de arena, peces de la familia Gobiidae, así como *Myrophis vafer* (Ophichthidae), un pez muy abundante que habita en el fango del manglar, tanto en bajos como encanales en manglares.

En las partes menos inundadas existen algunos cangrejos adaptados a condiciones semiterrestres, como es el caso de *Cardisomacracrum* (“tihuacal”, “cangrejo azul”), *Gecarcinus lateralis* (“ajalín”), *Ucides occidentalis* (“punche”).

Fondos Duros

Los fondos duros caracterizados por la alta turbidez y salinidades marinas mayores de 30 psu presentan organismos típicos de arrecifes rocosos en profundidades que oscilan desde la zona intermareal hasta 18 metros.

Los fondos duros comunes están conformados por árboles y arrecifes artificiales, gaviones, muelles y rampas. También sobresalen las esponjas, hidrozooos, antozoos (incluyendo el coral blando *Leptogorgia rigida* y el pétreo del género *Coenocyathus*), poliquetos, moluscos incluyendo las clases Bivalvia, Gastrópoda, sipuncúlidos, variedad de crustáceos y al menos tres especies de ofiuroides.

En cuanto a peces destacan *Abudefduftroschellii*, *Stegastes flavilatus*, *Pseudobalistes naufragium*, *Diodon holocanthus*, *Pomacanthus zonipectus*, *Lutjanus argentiventris*, *L. jordani*, *L. guttatus*, *Epinephelus labriformis*,

Chaetodon humeralis, entre otros. Estos peces son comunes en arrecifes de Los Cóbanos, Mizata y zonas rocosas de islas del Golfo de Fonseca.

En las zonas salobres (salinidad menor a 20 psu) están caracterizadas por pequeñas piedras, paredes, muros donde se observan cirrípedos, bivalvos de la familia Ostreidae, gastrópodos de la familia Epitoniidae, entre otros. (27)

1.1.5 ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA BAHÍA DE JIQUILISCO

Los orbínidos son poliquetos intermedios entre los errantes y sedentarios, no hacen galerías de tubos permanentes; pero sí son activos en sustratos con arena y fango. Esta familia ha sido encontrada en ambientes suaves y suaves-arenosos en la Bahía de Jiquilisco.

La familia Magelonidae es común en fondos arenosos y se encuentra también en lodo. Esta familia fue detectada en sedimentos suaves y arenosos en la Bahía de Jiquilisco. (27)

A demás de los organismos mencionados anteriormente, la Bahía de Jiquilisco presenta una gran variedad de especies. A continuación se muestran algunas de ellas:



a)



b)

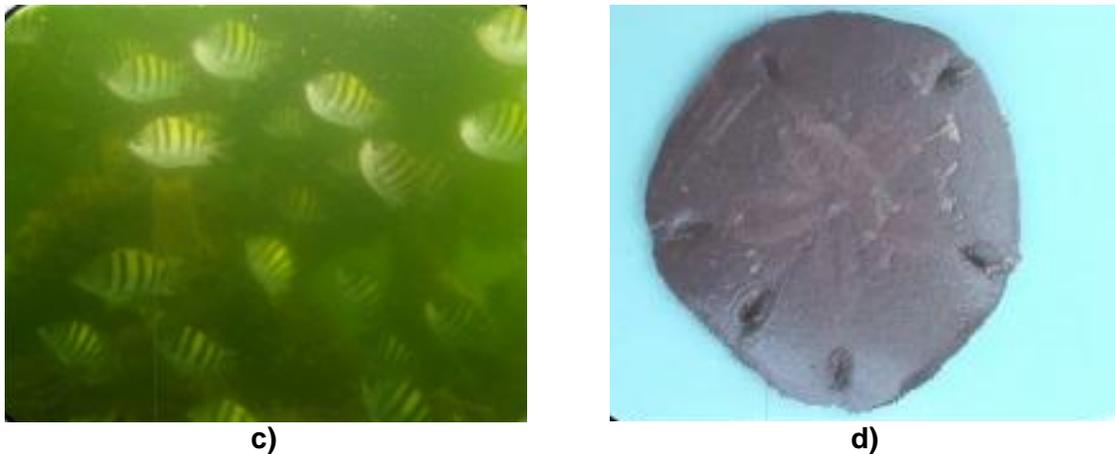


Figura 1.8: a) *Aratuspisonii* sobre rama de *R. mangle*, b) *Ophiothrixspiculata*, Fondo duro, c) *A. troschelii* asociado a árbol de *R. mangle*, d) *Encopemicropora*, fondo arenoso.

Fuente: El Ecosistema de Manglar de la Bahía de Jiquilisco: Sector Occidental. Rivera, 2010.

En el **Cuadro 1.5** se presentan algunos cnidarios, moluscos, poliquetos y braquiuros registrados en la Bahía de Jiquilisco:

Cuadro 1.5: Organismos Observados y Registrados en Bahía de Jiquilisco.

Clase	Especie	Hábitat
Cnidarios		
Hydrozoa	<i>Macrorhynchiaphillipina</i>	Fondos duros
Scyphozoa	<i>Stomolophusmeleagris</i>	Parte del plancton
Anthozoa	<i>Renillamuelleri</i>	Fondos blandos
Moluscos		
Bivalvia	<i>Anadaragrandidis</i> <i>Anadarasimilis</i> <i>Atrina maura</i>	Playones arenosos-fangosos Fango asociados a manglares Bajos intermareales y sublitorales
Gastrópoda	<i>Cerithideaspp</i> <i>Flabellinacynara</i> <i>Neritascrubicosta</i>	Fondos blandos intermareales Fondos duros Rocas, salinidad >25 psu
Braquiuros		
Especie	Nombre común	Hábitat
<i>Ccardisomacrassum</i>	Tihuacal, cangrejo azul	Madrigueras en zonas secas de manglares.
<i>Callinectesarcuatus</i>	Jaiba	Fondos blandos costeros.
<i>Gecarcinuslateralis</i>	Ajalín	Madrigueras en zonas secas de manglares.
<i>Ucidesoccidentalis</i>	Punche	Madrigueras en zonas pantanosas de manglares.

Clase	Especie	Hábitat
Poliquetos		
Familia	Especie	
Lumbrineridae	Lumbrineridaeunicinigera	
Nereidae	Nerisseridentata	
Opheliidae	Armandiasalvadoriana	

Fuente: El Ecosistema de Manglar de la Bahía de Jiquilisco: Sector Occidental. Rivera, 2010.

1.2 SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA

Históricamente la Bahía de Jiquilisco ha tenido una gran importancia para la economía de El Salvador, tanto por la producción agrícola como por la extracción de los productos del mar: Sal, camarón y peces.

Asimismo, la zona de la bahía en su conjunto constituye una importante reserva de recursos naturales que presta diferentes bienes y servicios ambientales de beneficios tanto a nivel local como nacional.

La Bahía de Jiquilisco ha sido una de las zonas más importantes para la producción de sal en El Salvador y Centroamérica desde la época prehispánica en la Isla El Jobal donde se tienen reportes de vestigios de salineras.

Durante la época colonial las salinas fueron explotadas por los indígenas que tenían derechos comunales, y por los encomenderos españoles. En el siglo XIX la bahía de Jiquilisco era una de las tres zonas más importantes para la producción de sal. En los 90's, la Bahía de Jiquilisco también era la principal zona salinera de El Salvador.

A partir de 1950 el sur del departamento de Usulután experimentó un cambio en el uso del suelo con la expansión del cultivo de algodón. El área cultivada de algodón se incrementó en el período de 1960 a 1971 en un 60% representada en grandes propiedades que producían el 80% de la cosecha nacional, ya que el uso de fertilizantes y de los insecticidas aumentó la productividad en más de la mitad.

La expansión del algodón provocó cambios importantes en la economía y medio ambiente de El Salvador, atribuyéndosele la disminución de la producción pesquera en la década de los 70's. (8) Además atrajo a la población campesina del norte de El Salvador hacia la zona costera.

Otro de los productos de importancia para la economía nacional es la industria pesquera y camaronera. La industria camaronera se encuentra concentrada en la

zona de Puerto El Triunfo, Puerto Parada y Puerto Barillas. A lo largo de la Bahía de Jiquilisco existe la pesca artesanal.

No obstante, en los últimos años este rubro ha disminuido la cantidad capturada de los productos marinos, al grado que la mayor preocupación de los distintos sectores que se dedican a esta actividad es en cuanto a la sostenibilidad a largo plazo. (22)

En definitiva la región oriental de El Salvador, ha sido afectada por el conflicto armado que aceleró el proceso de deterioro del sector agrario, la industria pesquera y minera, la producción de granos básicos, a lo cual se suma la histórica marginación en las políticas de desarrollo centralistas, que se revelan en los indicadores de analfabetismo, acceso al agua y otros servicios básico, así como la infraestructura existentes en la región.

Por si todo eso fuera poco la región ha sufrido los constantes desastres que de forma periódica han afectado los diferentes ámbitos y funcionamiento regional; de los cuales, pueden mencionarse en los últimos 15 años, los huracanes Mitch, Stan, Ida y Agatha, la tormenta tropical E-12, los terremotos del 11 de enero y 11 de febrero de 2001, y la erupción del Volcán de Santa Ana en el año 2005.

Por tanto, sequías, inundaciones, huracanes, terremotos y erupciones son los elementos naturales que sumados a las situación de pobreza de la población han sumergido a la región en un círculo muy difícil de romper.

La recuperación económica de la infraestructura iniciada a partir de los Acuerdos Paz en 1992, se vio afectada y en ciertas áreas empeorada por los desastres de los últimos años. No obstante, la región goza de fuertes iniciativas de los actores locales, apoyo de organizaciones no gubernamentales nacionales y locales, y de estar en las prioridades en el Plan de la Nación.

Actualmente, los problemas que aquejan a la población de El Salvador, son la delincuencia, las pandillas, la pobreza, deficientes servicios básicos y sobre todo la falta de alternativas de empleo, que redundan en pobreza y problemas sociales, además del marcado deterioro de los recursos naturales como una consecuencia de la presión humana.

1.2.1 ADMINISTRACIÓN

Como se mencionó anteriormente, la Bahía de Jiquilisco se encuentra ubicada en el Departamento de Usulután. Debido a su extensión colinda con seis municipios

(Anexo C), estos son Jucuarán, Concepción Batres, Usulután, San Dionisio, Puerto El Triunfo y Jiquilisco, los cuales están formados por los siguientes cantones: El Zamorán, El Marillo, Salinas El Potrero, La Joya de Tomasito, Los Limones, La Canoa, Salinas de Sisiguayo, Puerto Ávalos, Santa Lucia, Iglesia Vieja, San Francisco, San Felipe, San Juan del Gozo, San Antonio, Las Salinas, Samuria, El Jícaro, Isla de Méndez y Corral de Mulas. Además dentro del estuario se reportan las islas Madre Sal y El Espíritu Santo. (24) La **Figura 1.9**, muestra las zonas urbanas:

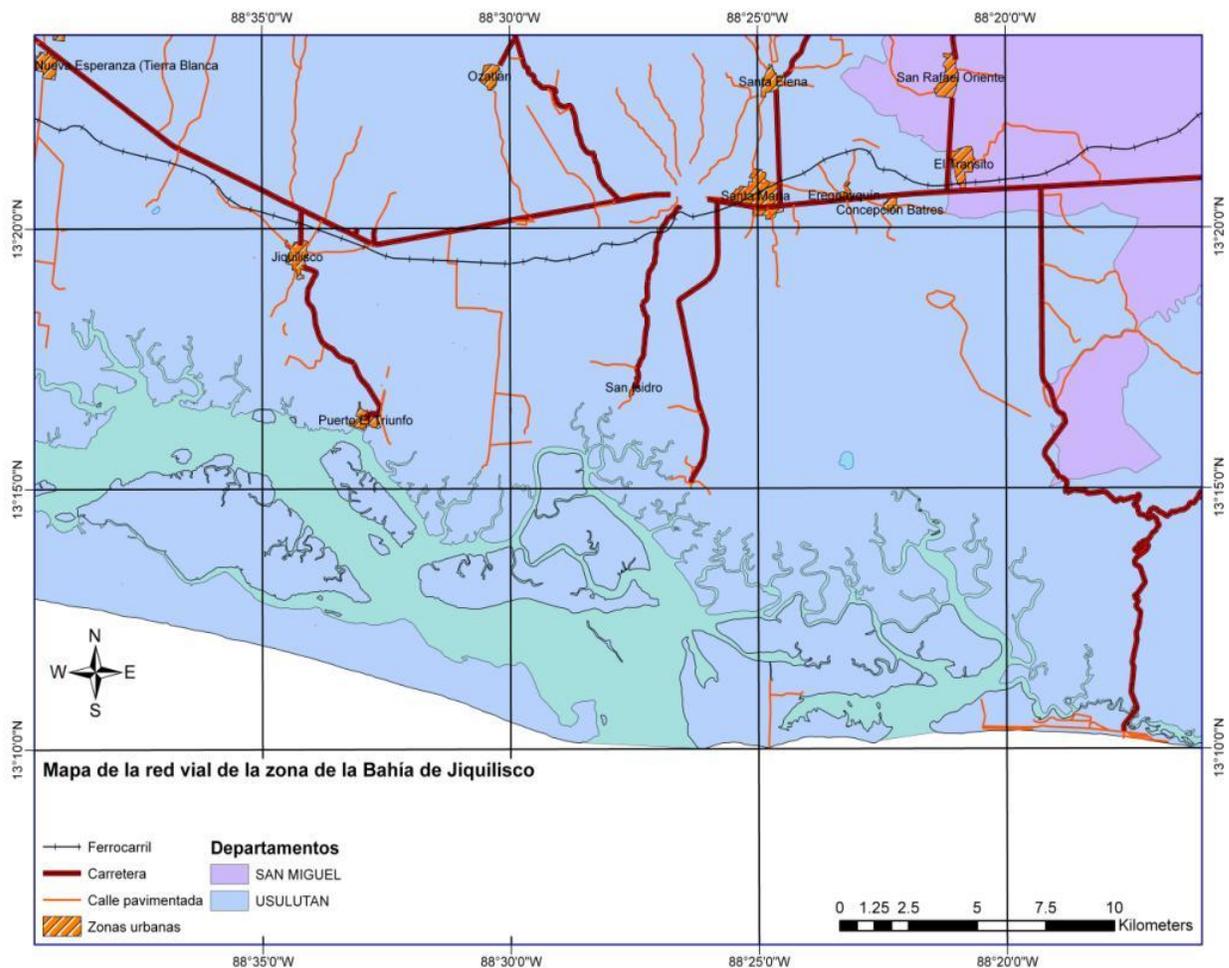


Figura 1.9: Mapa de la red vial y zonas urbanas de la Bahía de Jiquilisco.

Fuente: Sistema de Información Geográfica. 2010.

1.2.2 POBLACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO

Con el intento de inferir la dinámica poblacional en los últimos años, se han comparado los datos de población del censo del año 1992 con las estimaciones del año 2000, con respecto a los municipios involucrados en la Bahía de Jiquilisco.

Como se muestra en el **Cuadro 1.6** de 1992 al año 2001 el cambio de la distribución poblacional es evidente, ya que la población rural de los municipios ha disminuido mientras que la población urbana tiende a aumentar.

De los seis municipios, Jiquilisco es el que ha tenido un mayor movimiento poblacional, de 1992 al año 2002 la población urbana se ha triplicado, mientras que la población rural se redujo a casi a la mitad.

En esta misma dinámica aunque en menor medida le siguen Concepción Batres, San Dionisio y Jucuarán; caso curioso es el municipio de Usulután, en el mismo período la población urbana ha disminuido, mientras que la población rural ha aumentado.

Siguiendo con Jiquilisco, de acuerdo con el estudio de ordenamiento territorial, este municipio en comparación con los cinco restantes presenta la tasa anual de crecimiento poblacional más alta; que como se ha señalado anteriormente, a partir de 1992 en la zona de Jiquilisco se han asentado nuevos grupos poblacionales.

Cuadro 1.6: Población por Municipios en la Bahía de Jiquilisco 1992-2002.

Municipio	Población 1992			Población 2001-2002			Densidad habitantes/km ²
	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total	
Jiquilisco	7223	30423	37646	23328	17108	40436	83.39
Concepción Batres	2237	9525	11758	7235	5152	12387	136
Jucuarán	1429	9767	11196	7284	5187	12471	54.42
San Dionisio	736	6162	6898	3928	5376	9304	87.29
Puerto El Triunfo	7833	7259	15092	9584	7000	16584	98.38
Usulután	40971	23355	64323	39041	29797	68838	447
Total	60429	86491	146913	83116	64433	147549	-

Fuente: Plan de manejo del área natural y humedal bahía de Jiquilisco, MARN 2004.

Otro aspecto a señalar es que de los seis municipios que convergen en la bahía, Jiquilisco tiene el mayor número de habitantes, pero Concepción Batres y Usulután son los municipios más densamente poblados.

De 147,549 habitantes en la región, la mayor concentración de población se encuentra en Jiquilisco con el 27.0%, Puerto El Triunfo con el 11.23% y Usulután con el 46.65%; pero en este último la población se distribuye hacia el norte y no hacia la Bahía de Jiquilisco, mientras que los dos primeros están prácticamente dentro del área natural.

Concepción Batres, San Dionisio y Jucuarán tienen una concentración de población de 8.46%, 6.30% y 8.45% respectivamente.

El número de habitantes por cantón que aquí se presenta, es la aproximación más actualizada que existe. En el Sistema de Información de Salud Integral (SIBASI), no cuentan con información completa ya que no en todos los cantones tienen cobertura con promotores de salud. De tal manera que los siguientes cuadros se construyeron con datos del SIBASI y con algunos estudios realizados por ONG'S, con los cuales se compararon para verificar la coincidencia o aproximación entre ellos.

En el **Cuadro 1.7**, a excepción de los dos cascos urbanos, los cantones San Juan del Gozo, Isla Méndez, Corral de Mulas, Salinas del Potrero, El Zamorán, Sitio Santa Lucía y Puerto Parada son los más poblados; de los cuales los cinco primeros pertenecen al municipio de Jiquilisco y los dos últimos a Puerto El Triunfo y San Dionisio respectivamente. (20)

Cuadro 1.7: Número de habitantes por cantón pertenecientes a la Bahía de Jiquilisco.

Cantón	No. De Familias	Total Habitantes
El Zamorán	539	2695
Puerto Parada	-	6426
Salinas El Potrero	429	2145
La Joya de Tomasito	75	376
Los Limones	Deshabitado	0
La Canoa	343	1125
Salinas de Sisiguayo	150	761
Puerto Ávalos	239	1195
Santa Lucía	384	1920
Isla El Espíritu Santo	210	1133
San Francisco	173	865

Cantón	No. De Familias	Total Habitantes
San Felipe	166	813
San Juan del Gozo	237	1915
San Antonio	130	664
Las Salinas	-	-
Samuria	251	1406
El Júcaro	169	823
Corral de Mulas	566	1927
Isla Méndez	428	3017
Puerto El Triunfo (Casco Urbano)	2236	11181
Jiquilisco (Casco Urbano)	-	23,328
TOTAL	6725	24,262

Fuente: Plan de manejo del área natural y humedal bahía de Jiquilisco, MARN 2004.

De acuerdo al último censo realizado por la Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC), publicado en diciembre de 2010 (**Anexo C**), se tiene información más actualizada de la población que habita los seis municipios que colindan con la Bahía de Jiquilisco, la cual se detalla en el **Cuadro 1.8** y **Cuadro 1.9**.

Cuadro 1.8: Densidad Poblacional de los Municipios de la Bahía de Jiquilisco, 2010.

Municipios	Área km ²	Población	
		Total	Densidad
Jiquilisco	429.99	47,784	111
Puerto El Triunfo	168.68	16,584	98
San Dionisio	114.95	4,945	43
Usulután	139.75	73,064	523
Concepción Batres	119.05	12,197	102
Jucuarán	239.69	13,424	56

Fuente: VI Censo de Población y V de Vivienda. Atlas Sociodemográfico, DIGESTYC 2010.

Cuadro 1.9: Población Urbana de los Municipios de la Bahía de Jiquilisco, 2010.

Municipios	Población			% Urbana
	Total	Urbana	Rural	
Jiquilisco	47,784	20,270	27,514	42.4
Puerto El Triunfo	16,584	9,601	6,983	57.9
San Dionisio	4,945	1,281	3,664	25.9
Usulután	73,064	51,496	21,568	70.5
Concepción Batres	12,197	3,214	8,983	26.4
Jucuarán	13,424	1,140	12,284	8.5

Fuente: VI Censo de Población y V de Vivienda. Atlas Sociodemográfico, DIGESTYC 2010.

De acuerdo a la información anterior se concluye que el municipio de Usulután presenta la mayor población con un 70.5 % de población urbana y una densidad poblacional de 523 hab/km².

1.2.3 ECONOMÍA

Un análisis realizado con énfasis en el potencial económico, haciendo relación con la disponibilidad y condición de los recursos naturales y humanos; se determinó que la Bahía de Jiquilisco es la tercera cuenca, en El Salvador, con mayor potencial económico.

Esta cuenca es la que tiene mayor potencial económico en términos de valor de la producción, y una intervención de diversificación podría incrementar el valor de la producción agrícola (café, caña de azúcar y granos básicos) y forestal a un 104.5%, resultado de pasar de US\$21.48 millones a US\$43.93 millones.

La generación de empleo de la cuenca actualmente por actividades agrícolas y forestales es de 10,161 empleos permanentes (US\$ 9.4 millones); sin embargo, con la diversificación hay capacidad de generar 14,955 empleos lo que significa un incremento del 47% del nivel de empleo actual. Con el desarrollo de inversiones en la zona, se generaría un valor de US\$13.89 millones por concepto de salarios.

Cabe mencionar que el incremento del valor de la producción y la generación de nuevos empleos está limitado por el déficit hídrico; por lo tanto se requiere de intervenciones orientadas a superar este déficit, a través de la ampliación de la cobertura vegetal con cultivos permanentes en la parte alta (actualmente existen plantaciones de café en 9,765 ha) y cosecha de agua utilizando diferentes alternativas, desde la captación de aguas lluvias hasta el almacenamiento.

El manejo de la parte alta de la cuenca de Jiquilisco contribuiría, a disminuir el riesgo a la sequía e inundaciones en la parte baja de la cuenca la cual tiene una importante conexión de desarrollo con la actividad productiva y de servicios de los recursos costeros marinos (industria salinera, pesca artesanal, cultivo de camarones, turismo de playa y protección de manglares).

En esta cuenca, hay potencial productivo pero la disponibilidad de agua es limitada y se necesitaría mínimo unos 10 años para disponer de los recursos hídricos necesarios para hacer productiva la cuenca con menor riesgo a las sequías e inundaciones.

Por otro lado, el Ministerio de Economía en coordinación con la Secretaría Técnica de la Presidencia y los Ministerios de Trabajo, Turismo, Obras Públicas, Agricultura y Ganadería, Medio Ambiente, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL) y Educación, dieron a conocer el 10 de septiembre de 2010, el Plan Quinquenal 2010-2014, el cual consiste en la integración de desarrollo local en la región, y la Estrategia Nacional de Desarrollo Productivo a los habitantes de la Bahía de Jiquilisco, con el objetivo de que los lugareños conocieran dichos planes de trabajo y se incorporaran al desarrollo de los proyectos locales acuícolas el Sisiguayo y El Zompopero, que se ejecutan en el lugar.

Si bien, emprender esta u otras acciones no es tarea difícil, dado que la Bahía de Jiquilisco posee un alto potencial para el desarrollo turístico y, de cara al futuro, se vislumbra como destino final de segmentos de alto poder adquisitivo, al constituir un enclave turístico-natural (Ecoturismo) de especial significación para este tipo de mercado.

Principales Actividades Económicas

La Bahía de Jiquilisco ha sido una importante base para la economía nacional tanto por la producción agrícola como la producción pesquera y camaronera.

La gran mayoría de los habitantes de las islas de la Bahía de Jiquilisco, se dedica a la práctica exclusiva de la pesca artesanal. Sin embargo, el producto que pescan no es representativo ya que las ganancias por su comercialización no son suficientes como para vivir en condiciones aceptables.

Estas personas no cuentan con los instrumentos adecuados para mejorar su pesca, mucho menos con la tecnología apropiada para procesar el producto de su trabajo. A ello hay que agregar que en ciertos períodos no pueden dedicarse a la

pesca, ya sea por las vedas oficiales que decreta el Gobierno de El Salvador, o por las condiciones que generan los fenómenos naturales. Son los fenómenos naturales quienes precisamente acrecientan el estado de pobreza de la población que habita en la Bahía de Jiquilisco.

En 1995 habían aproximadamente 23 cooperativas manejando aproximadamente 1470 ha. de salineras y camaroneras. De acuerdo con el estudio realizado por el JICA, al año 2001 existían 2928 pescadores artesanales distribuidos en diferentes puntos.

Hay que señalar que el muestreo del JICA no consideró otros puntos pesqueros como la Isla Espíritu Santo, El Jobal, El Espino, Samuria y otros cantones que colindan con la Bahía de Jiquilisco, donde los habitantes también practican la pesca artesanal.

A partir de los estudios sobre pesca a nivel nacional (MARN/VMVDU, 2003) y los sondeos en la Bahía de Jiquilisco (CODEPPA: 2000; JICA: 2002), entre las especies de peces, moluscos y crustáceos más capturadas para la comercialización por los pescadores artesanos y alimentación están las siguientes:

Cuadro 1.10: Tipos de peces, moluscos y crustáceos para el comercio, por puntos de pesca según el JICA, 2001.

Isla Méndez	Puerto El Triunfo	Isla La Pirrayita	Puerto Parada
Camarón	Curvina	Camarón	Camarón
Tilosa	Guavina	Roncón	Guavina
Roncón	Pinchala	Tilosa	Panchita
Pargo	Pez gato	Pez Gato	Lunarejo
Robalo	Mojarra	Macarela	Roncón
Jurel	Robalo	Mojarra	Jaiba
Mero	Pargo	Panchita	Huesuda
Tiburón	Mero	Murciélagos	Pargo
Guavina	Bagre	Gavilán	Robalo
Curil	Roncón	Jaiba	Mero
Huevos de tortuga	Chimbero	Pacen	Curil
	Tiburón pequeño	Atún	Punche
	Camarón	Bagre	Almeja
	Tilosa	Pez Gato	Churria
	Macarela	Curvina	Curillilla

Fuente: El estudio sobre el desarrollo de la pesca artesanal en El Salvador, JICA; 2001.

En los manglares existe una gran variedad de curil que contribuye en gran medida a la biomasa del bosque salado. Además tiene un alto valor comercial y alimenticio para las familias de la zona, de tal manera que en el marco de la actividad pesquera artesanal la extracción del curil constituye una fuente de ingresos muy importante a lo largo de la Bahía de Jiquilisco.

Sin embargo, en un estudio realizado en comunidades pesqueras de la Bahía de Jiquilisco (Puerto Parada, Rancho Viejo y La Pirraya, en los últimos cuarenta años la producción de curil ha disminuido considerablemente.

En el curileo se involucran principalmente las mujeres y los niños y niñas. Pese a la importancia que esta actividad tiene para las familias y en especial para las mujeres que se dedican a la extracción de este producto, al comparar los ingresos de ellas con los ingresos que generan otras actividades pesqueras, se estima que se encuentran en extrema pobreza, pues solamente obtienen alrededor de \$50 a \$70 mensualmente. (22)

Los cangrejos para la comercialización son el *Ucides occidentalis* "cangrejos patas moradas, punches" y *Cardisoma crassum* "cangrejo azul, tihuacal y punche". Este tipo de cangrejo, de adulto alcanza tamaños de más de diez centímetros de ancho del caparazón, son de coloración morado, azul y rojo y se alimentan de fragmentos de hojas de mangle.

Según estadísticas, debido al escaso mercado que tiene este producto existe poca población que se dedica a la captura de cangrejos. En el año 2000, en las comunidades de Puerto Parada, La Pirraya y Rancho Viejo solamente existían tres personas dedicadas a la captura del animal. No obstante ambos sitios ofrecen zonas aptas para su protección y cultivo.

Generalmente los pescadores individuales combinan actividades de pesca con la agricultura de subsistencia, principalmente los que habitan en la Península San Juan del Gozo, y aquellos que habitan en zonas con suelos aptos para el cultivo. Se cultiva para la comercialización: ajonjolí, caña de azúcar, fríjol blanco y sandía.

Sin embargo, en el interior de la Bahía de Jiquilisco existen iniciativas para la diversificación agrícola. Por ejemplo, en algunos cantones están cultivando hortalizas y la producción se comercializa en el mercado la Tiendona y los centros urbanos más cercanos. En la isla Jobal existen cultivos y procesamiento de coco.

Y en menor escala, en el interior de la Bahía de Jiquilisco existen iniciativas para la diversificación agrícola mejorada. Por ejemplo, en algunos cantones del Bajo Lempa están cultivando hortalizas y frutas.

La iniciativa para la diversificación agrícola está beneficiando a 40 agricultores del Bajo Lempa y su grupo familiar, a 80 empleados en las actividades agrícolas, a las mujeres que trabajan en el centro de acopio y a los transportistas. Dicha producción se comercializa en el mercado la Tiendona y los centros urbanos más cercanos.

Según los registros existentes, el proyecto de diversificación agrícola cuenta con mapeo de lugar para la expansión agrícola con el fin de evitar los cultivos en zonas de riesgo y brote de agua salada.

Los suelos de la zona de la Bahía de Jiquilisco se caracterizan por ser profundos y con posibilidad de mecanización. De acuerdo con el plan de ordenamiento territorial (2002), por la calidad de los suelos de los municipios de Jiquilisco y Puerto El Triunfo, se estima un potencial bueno para la reactivación y desarrollo de la agricultura intensiva con sistemas de regadillo. (22)

En la zona se encuentran crianzas de ganado, de 100 a 300 cabezas, pero la mayoría son pequeñas o medianas crianzas familiares con menos de 20 cabezas. Se encuentran en mayor proporción, áreas de pasto para ganado en la Península de San Juan, en el cantón Los Limones, Aguacayo y Salinas del Potrero.

En los municipios de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, Jucuarán y San Dionisio la actividad comercial y los servicios están vinculados a la actividad pesquera. Generalmente la dinámica comercial se concentra en los cascos urbanos. La ciudad de Usulután presenta el mayor desarrollo comercial vinculado no sólo a los productos marítimos; también en la ciudad existe la mayor diversidad de servicios y comercio.

No se cuenta con datos sobre el sector servicios y comercio por municipios ni por departamentos, sin embargo la información disponible indica que el sector comercio, hasta el 2004, contribuía solamente en un 8.37 % del valor total de lo que este rubro contribuye al Producto Interno Bruto (PIB) a nivel nacional.²

²BCR. (2012). *Producto Interno Bruto*.

El sector servicio, hasta el 2004, estuvo alrededor del mismo porcentaje que el comercio, este representaba el 8.78 %. El aporte del sector industria de la región oriental de El Salvador representaba un porcentaje más bajo del valor total de la contribución de este sector al PIB (DIGESTYC: 2000).

Aunque el aporte de las actividades turísticas a la economía nacional representa un porcentaje muy bajo, el 2.00% del Producto Interno, en los últimos años el turismo en la Bahía de Jiquilisco ha cobrado cierta importancia a nivel económico. Para diferentes sectores de la zona esta tendencia resulta ser una opción para el desarrollo económico social de la región.

1.3 TEORÍA DE VALIDACIÓN

La validación de un método analítico es de suma importancia, ya que con ello se puede asegurar que los datos que resultan de aplicar un método analítico son confiables y precisos para los usos que sean necesarios. A continuación se describen algunos lineamientos que se deben de tomar en cuenta a la hora de realizar una validación analítica.

Definición general e importancia del proceso de validación.

Existen varias formas de llevar a cabo una validación, de acuerdo a sus objetivos y alcances, los cuales dependen del analista, del laboratorio y del uso que se haga del método; además el analista debe conocer los resultados esperados y definir el nivel de confianza.

El laboratorio que desarrolla o aplica el método es el responsable del proceso de validación. La validación puede definirse como:

- a) El establecimiento de una base de datos experimental que certifica el rendimiento de un método analítico teniendo en cuenta su objetivo de diseño.
- b) La confirmación por medio de una evaluación, con la cual se suministra la evidencia necesaria para ratificar que los objetivos de diseño del método bajo especificaciones particulares se cumplen en su totalidad.

Dos palabras claves en estas dos definiciones reúnen los dos objetivos primordiales de una validación, establecer un método y confirmar su desempeño

por medio de tratamientos estadísticos y apreciaciones cualitativas por parte del laboratorio o laboratorista en general.

De ahí radica la importancia de una adecuada validación, ya que establece bajo qué circunstancias debe realizarse un análisis asegurando que los datos obtenidos cumplen en la totalidad la calidad deseada, brindando seguridad y respaldo.

Además, proporciona criterios para el rechazo o re análisis de lecturas anómalas. La validación de un método, generalmente, está íntimamente relacionada con el desarrollo del método.

Por otro lado, acompañando el proceso de validación, está la transferencia de métodos. Este proceso se encarga de la introducción de un método validado a otro laboratorio de tal forma que pueda ser usado con la misma capacidad para el cual fue diseñado inicialmente.

Generalmente, el proceso de transferencia de métodos está a cargo del laboratorio que usará el método validado. Sin embargo es de vital importancia la participación de ambas partes, tanto el que seleccionó/diseño/validó el método como los laboratorios que harán un uso rutinario de estos.

Necesidad de una validación.

Para que un resultado analítico concuerde con el propósito requerido, debe ser lo suficientemente confiable para que cualquier decisión basada en éste pueda tomarse con confianza, y para que la obtención de pruebas documentadas y demostrativas de un método de análisis sea lo suficiente confiable en producir el resultado previsto dentro de intervalos o parámetros definidos y para el propósito requerido.

Eurachem³, una asociación europea de laboratorios focalizada en el mejoramiento y estandarización de los métodos de análisis químico, propone los siguientes principios para promover una buena práctica en las mediciones de análisis químico:

- a) Las mediciones analíticas deben hacerse para satisfacer un objetivo definido.

³Eurachem: *A focus for Analytical Chemistry in Europe (Focalización de Química Analítica en Europa)*

- b) Las mediciones analíticas deben realizarse usando métodos y equipos evaluados, y así asegurar que estos son adecuados para su propósito.
- c) Los analistas encargados de los análisis deben estar calificados y ser competentes con las tareas asignadas, además deben demostrar que ellos pueden realizar el análisis de forma adecuada.
- d) Debe de existir un aseguramiento independiente y periódico del desempeño de las técnicas del laboratorio.
- e) Las mediciones analíticas realizadas en un lugar en particular deben ser consistentes con aquellas realizadas en cualquier otro laboratorio.
- f) Las organizaciones encargadas de realizar estos análisis deben tener bien definido un procedimiento de control y aseguramiento de la calidad. En el segundo principio se pueden encontrar de forma implícita la validación y por tanto hace parte de las buenas prácticas fundamentales para realizar buenas medidas en análisis fisicoquímicos.

1.3.1 CUÁNDO REALIZAR UNA VALIDACIÓN

La validación se encuentra dentro de un proceso de mejoramiento de la calidad de los laboratorios, y hace parte de un ciclo que es renovado con cada modificación que se realiza a los métodos. El proceso de validación debe realizarse cuando:

- Se desarrolla un nuevo método para un problema en particular (primera validación).
- Se establece un método usado en otro laboratorio o con diferentes analistas.
- Cambio o actualización de equipos de análisis.
- Obsolescencia y correspondiente actualización del método.
- Se renueva el principio activo o se realizan correcciones al procedimiento debido a condiciones de logística o de diseño.
- Cuando el control de calidad indica que el método establecido reporta valores que varían con el tiempo.

- Cuando existen alteraciones de fondo en la matriz de análisis.
- Se desea demostrar la equivalencia de dos métodos, comparación entre un método alternativo y uno normalizado.

Estos factores no son excluyentes y por lo tanto pueden efectuarse varios a la vez. Se recomienda, entonces, cuando sea necesaria una revalidación, realizar la mayor cantidad de cambios previstos a futuro, y de esta forma no será necesario ejecutar validaciones de manera seguida; es decir, si por algún motivo se realiza una corrección en el procedimiento y es necesaria la validación, se debe realizar una búsqueda bibliográfica de las técnicas actuales para el método en cuestión y evaluar si en ese momento existen mejores técnicas para dicho análisis y si es apropiada su aplicación.

El proceso de validación está limitado por el alcance que se requiere, es importante definir bien los objetivos iniciales y el alcance que tendrá para que de esta forma se optimicen los ensayos.

1.3.2 CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS

A continuación se describe la clasificación general de los métodos de análisis existentes en los laboratorios, los cuales pueden no estar aprobados por organismos internacionales o acreditados.

Según la normalización y estado de desarrollo del método

a) Métodos estándar o normalizados:

Los métodos estándar son aquellos publicados por organizaciones internacionales, regionales o nacionales; por organizaciones técnicas respetables; referencias legales; métodos publicados por la Food and Drug Administration (FDA), y que se ejecutan tal como se describen en la norma. Estos métodos incluyen aquellos publicados por:

- United States Pharmacopedia (USP)
- National Formulary (NF)
- Homeopathic Pharmacopedia of the United States

- Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists(AOAC)
- American Public Health Association (APHA)
- Pesticide Analytical Manual (PAM)
- Food Additives Analytical Manual
- Food Chemicals Codex
- FDA Bacteriological Analytical Manual (BAM)
- FDA Macroanalytical Procedures Manual (MPM)
- ORA Laboratory Information Bulletins (LIBs)

Aquellos métodos especificados por fabricantes de equipos de análisis también son considerados como métodos estándar, por ejemplo los suministrados por HACH en el Handbook de análisis de agua por métodos espectrofotométricos.

b) Métodos desarrollados por el laboratorio:

En ocasiones cada laboratorio elabora sus propios métodos, esto puede deberse a que el análisis es muy específico y se evalúa, por ejemplo, cierta matriz especial que solo interesa al laboratorio; o que debido a restricciones de tipo comercial no se puede disponer de métodos análogos usados en otras empresas o compañías.

El laboratorio, por consiguiente, debe evaluar la capacidad de los analistas, equipos y otros recursos relacionados con el método en cuestión. Los métodos deben estar debidamente validados, documentados y autorizados para su uso.

Para la evaluación de la capacidad del método se sugiere realizar comparaciones con otros métodos normalizados, preferiblemente que usen otro principio activo. En lo posible se debe usar materiales de referencia, estándares o muestras fortificadas.

c) Métodos no normalizados:

Los métodos no normalizados son aquellos que no han sido publicados por fuentes autorizadas y/o validadas. Es muy probable que los métodos sin normalización no dispongan de datos de validación o estudios colaborativos fiables o suficientes, por esto se recomienda realizar una validación cuanto sea posible. Si el método sufre cambios se requerirá una re-validación del método.

1.3.3 ALGORITMO DE VALIDACIÓN (ASPECTOS LOGÍSTICOS)

A continuación se muestran los pasos a seguir en un laboratorio antes de ejecutar un proceso de validación.

a) Grado de validación requerido:

El laboratorio de por sí debe decidir cuáles de los parámetros para la evaluación del rendimiento de un método se necesitan caracterizar, y así lograr una validación acertada que llene las expectativas requeridas.

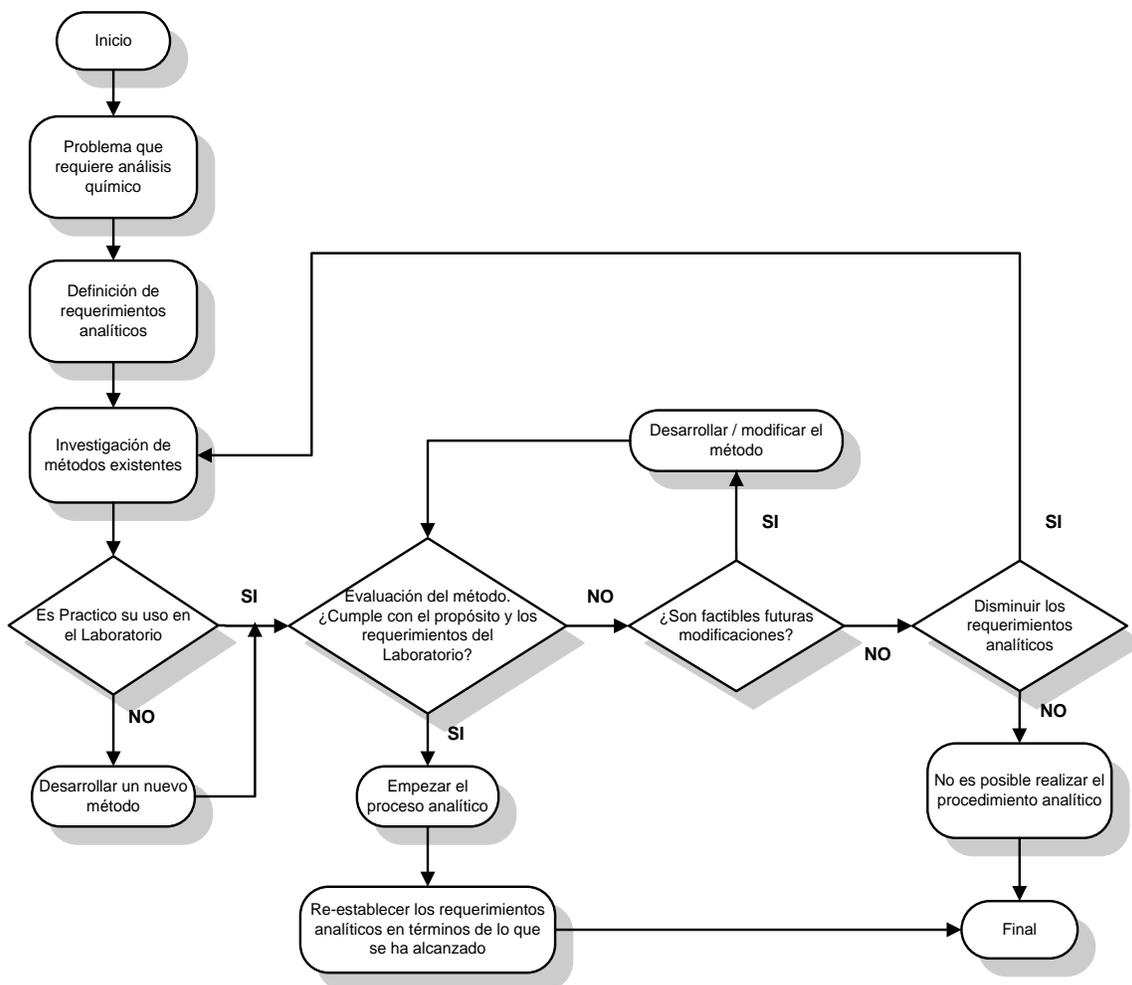


Figura 1.10: Diagrama de desarrollo, validación y ajuste del método analítico.

Fuente: Elaboración Propia.

Los factores que definen el alcance de una validación son:

- Frecuencia de uso en el laboratorio, rutina diaria, esporádica, etc.
- Sector de uso del método (categoría del método).
- La existencia de validaciones previas realizadas por organizaciones para la estandarización del método.
- Restricciones de tiempo y costo.

b) Requerimiento analítico:

Se deben tener en cuenta los requerimientos analíticos que debe afrontar el laboratorio para evaluar o medir cierta propiedad en una muestra. Este debe estar de acuerdo tanto con la necesidad del cliente o de la empresa como con los recursos disponibles.

Por esto inicialmente, los laboratorios deben realizar una investigación de los métodos normalizados existentes, y, si es necesario, desarrollar un nuevo método. Este procedimiento iterativo debe continuar hasta que el método cumpla con los requerimientos y no sean necesarias futuras modificaciones.

1.3.4 REQUERIMIENTOS ANALÍTICOS Y CARACTERÍSTICAS DE RENDIMIENTO RELACIONADAS

Como se mencionó en la sección anterior, en la validación de un método no es necesaria la evaluación de todas las características de rendimiento, esto depende de la documentación y bibliografía existente, y de la disponibilidad del laboratorio en cuanto al tiempo, material y equipo.

A continuación se exponen los criterios a tener en cuenta para elegir qué características son necesarias a evaluar; estos criterios se pueden clasificar en tres grupos: requerimiento analítico, nivel de normalización y categoría del método.

Cuadro 1.11: Parámetros de rendimiento relacionados según el requerimiento analítico.

Requerimiento Analíticos	Características de Rendimiento Relacionadas
¿Qué clase de respuesta se requiere, cualitativa o cuantitativa?	Confirmación de identidad Selectividad/ Especificidad Límite de detección Límite de cuantificación
¿El analito está disperso o localizado?	*
¿El analito está presente en más de una forma, se está interesado en analito extraíble, libre o total?	Confirmación de identidad Recuperación
¿Cuáles son los analitos de interés y a qué nivel se presentan (% µg, ng, mg, u otros)?	Confirmación de identidad Límite de detección Límite de cuantificación Rangos de trabajo y Linealidad
¿Qué tan preciso y reproducible debe ser la respuesta? ¿Qué grado de incertidumbre es permitido y como se expresará?	Recuperación Exactitud Repetibilidad Reproducibilidad
¿Cuál es la naturaleza química, biológica y física de la matriz?	*
¿Cuáles son las posibles interferencias?	Selectividad/ Especificidad
¿Se requiere un muestreo y sub-muestreo y será este realizado en el laboratorio?	*
¿La muestra está sujeta a restricciones de tamaño o disponibilidad?	*
¿Existen restricciones de recursos humanos, tiempo, dinero, equipo, reactivos y/o medios del laboratorio?	*
¿Los resultados necesitan ser comparados con otros laboratorios?	Robustez Reproducibilidad
¿Los resultados necesitan ser comparados con especificaciones externas?	Exactitud Reproducibilidad

*En estos casos no todos los elementos de un requerimiento analítico están directamente relacionados con un parámetro de validación, algunos de estos determinarán de manera más general si la técnica en particular es práctica o no para su uso.

Fuente: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (CONACYT), última versión octubre 2010.

1.3.5 ESTABLECIMIENTO DEL ALCANCE DE LA VALIDACIÓN

Se diferencian tres casos, en los que la dificultad de la validación aumenta del primero al tercero:

- 1) Se trata de un método de ensayo estandarizado y normalizado, que se aplica exactamente como está descrito en la norma/procedimiento.

- 2) Se trata de una modificación a un método de ensayo normalizado o cuando se use un método proporcionado por el proveedor de un equipo o sistema analítico.
- 3) Se trata de un método de ensayo desarrollado en el laboratorio y que no se encuentra en normas u otras colecciones de métodos.

Cuadro 1.12: Objetivos de la validación según el tipo de procedimiento de ensayos.

Método de Ensayo	Objetivos de la Validación
Caso 1: Método normalizado	Comprobación de que el laboratorio domina el ensayo y lo utiliza correctamente.
Caso 2: Modificación de un método normalizado (no normalizado)	Comprobación de que la modificación introducida en el método original no afecta la capacidad del laboratorio para proporcionar resultados confiables. Ejemplos: Cambio del método de extracción, otra matriz, cambios en el pH. Demostrar que el método proporcionado por el fabricante es capaz de dar resultados confiables para el fin propuesto.
Caso 3: Método desarrollado / interno	Comprobación de que el método cumple con las características necesarias para dar resultados confiables para el fin propuesto.

Fuente: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (CONACYT), última versión octubre 2010.

Cuadro 1.13: Alcance de la validación según el tipo de procedimiento de prueba. Métodos Normalizados.

Métodos Normalizados				
Parámetros	Identificación	Cuantificación de componentes mayoritarios	Cuantificación de componentes minoritarios o impurezas en trazas	Evaluación de características establecidas
Selectividad / Especificidad	Sí	+	+	+
Estabilidad analítica de la muestra	+	+	+	+
Linealidad del Sistema	No	Sí	Sí	+
Linealidad del Método	No	+	+	+
Rango	No	+	+	+
Exactitud	No	Sí	Sí	+
Repetibilidad	No	Sí	Sí	Sí
Precisión Intermedia	No	Sí	Sí	Sí
Reproducibilidad	No	++	++	++
Limite de Detección	+	No	No	No
Limite de Cuantificación	No	+	+	+
Robustez	+	+	+	+

+: Puede o no requerirse, dependiendo de la normativa de referencia o la naturaleza del análisis o de las modificaciones que se le hagan al método.

++: Dependerá de la disponibilidad de laboratorios.

Fuente: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (CONACYT), última versión octubre 2010.

Cuadro 1.14: Alcance de la validación según el tipo de procedimiento de prueba. Métodos No Normalizados.

Métodos Normalizados Modificados o No Normalizados				
Parámetros	Identificación	Cuantificación de componentes mayoritarios	Cuantificación de componentes minoritarios o impurezas en trazas	Evaluación de características establecidas
Selectividad / Especificidad	Sí	+	+	+
Estabilidad analítica de la muestra	+	+	+	+
Linealidad del Sistema	No	Sí	Sí	+
Linealidad del Método	No	Sí	Sí	+
Rango	No	Sí	Sí	+
Exactitud	No	Sí	Sí	+
Repetibilidad	No	Sí	Sí	Sí
Precisión Intermedia	No	Sí	Sí	Sí
Reproducibilidad	No	++	++	++
Limite de Detección	+	No	No	No
Limite de Cuantificación	No	+	Sí	+
Robustez	+	+	+	+

+: Puede o no requerirse, dependiendo de la normativa de referencia o la naturaleza del análisis o de las modificaciones que se le hagan al método.

++: Dependerá de la disponibilidad de laboratorios.

Fuente: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (CONACYT), última versión octubre 2010.

Cuadro 1.15: Alcance de la validación según el tipo de procedimiento de prueba. Métodos de Desarrollo Interno.

Métodos Desarrollados / Internos				
Parámetros	Identificación	Cuantificación de componentes mayoritarios	Cuantificación de componentes minoritarios o impurezas en trazas	Evaluación de características establecidas
Selectividad / Especificidad	Sí	Sí	Sí	+
Estabilidad analítica de la muestra	Sí	Sí	Sí	+
Linealidad del Sistema	No	Sí	Sí	+
Linealidad del Método	No	Sí	Sí	+
Rango	No	Sí	Sí	+
Exactitud	No	Sí	Sí	+
Repetibilidad	No	Sí	Sí	Sí
Precisión Intermedia	No	Sí	Sí	Sí
Reproducibilidad	No	++	++	++
Limite de Detección	Sí	No	+	No
Limite de Cuantificación	No	+	Sí	+
Robustez	+	Si	Sí	+

+: Puede o no requerirse, dependiendo de la normativa de referencia o la naturaleza del análisis o de las modificaciones que se le hagan al método.

++: Dependerá de la disponibilidad de laboratorios.

Fuente: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (CONACYT), última versión octubre 2010.

1.3.6 PARÁMETROS DE RENDIMIENTO Y DE CARACTERIZACIÓN DEL MÉTODO

En esta sección se describirán los parámetros que definen el rendimiento del método, o en otras palabras, que ayudan a la caracterización de éste.

En el presente proyecto se tendrán en cuenta los siguientes:

- Selectividad / Especificidad.
- Estabilidad analítica de la muestra.
- Linealidad del Método.
- Rango.
- Exactitud (recuperación o sesgo).
- Repetibilidad.
- Precisión intermedia.
- Límite de detección.
- Límite de cuantificación.

1.3.6.1 SELECTIVIDAD/ESPECIFICIDAD

a) Procedimiento de determinación de la selectividad:

- En el estudio de la selectividad, como norma general se comparan los resultados del análisis de muestras con y sin analito en presencia o ausencia de impurezas, productos de degradación, sustancias relacionadas, excipientes (matriz), y dependiendo del tipo de muestra, tipo de técnica analítica, instrumento de medición.
- Partiendo de la experiencia en el análisis de la muestra, se deben establecer las posibles sustancias y/o elementos y adicionar cantidades conocidas de éstas, solas o combinadas a la muestra y evaluar su respuesta al método, bajo las mismas condiciones de análisis.

b) Para métodos de Identificación:

- Se deben seleccionar sustancias que potencialmente interfieran en la determinación con base en la estructura molecular del analito, precursores, sustancias relacionadas, vías degradativas, entre otros.

c) Para métodos de Contenido / Valoración de impurezas:

- Si se dispone de las impurezas se deben adicionar éstas al analito y/o a la muestra analítica en niveles que incluya la especificación. Analizar como lo indica el método.
- Cuando no se dispone de las impurezas, la muestra que contiene el analito debe someterse a condiciones que generen su inestabilidad química (luz, calor, humedad, oxidación, etc.) y aplicar el método a la muestra resultante.

d) Para métodos de límite de impurezas:

- Muestras individuales de la impureza (orgánicas, inorgánicas, o solventes residuales).
- El producto (de pureza aceptable).
- Y la mezcla de estos.

e) Para métodos indicadores de estabilidad:

Si se cuenta con los productos de degradación, preparar muestras con:

- La matriz sola.
- Con matriz adicionada de estos.
- La matriz adicionada del analito.
- La matriz adicionada analito y de productos de degradación.

En el caso de métodos no selectivos, como por ejemplo los métodos que utilizan sistemas de medición volumétricas, la especificidad para los componentes de una muestra, es sustentada con los resultados de exactitud y linealidad del método cumplidos los criterios de aceptación.

Cuando haya duda en la demostración de la especificidad de un método analítico, se sugiere que sea investigada por otra metodología de soporte.

Los resultados del estudio de selectividad están vinculados principalmente al origen de la muestra, su preparación y las condiciones instrumentales. Cualquier cambio en estos factores supone reconsiderar el estudio realizado.

f) Criterios de aceptación:

La respuesta del método debe ser únicamente debida al analito.

1.3.6.2 ESTABILIDAD ANALÍTICA DE LA MUESTRA

Se establece la etapa de análisis en la cual se desea evaluar la estabilidad, además de determinar si en dicha etapa es posible fraccionar (muestras dependientes) o no (muestras independientes) y las condiciones de almacenaje.

a) Muestras dependientes:

- El analista debe procesar hasta la etapa preestablecida por lo menos por duplicado una muestra homogénea.
- Fraccionar cada una de las preparaciones de acuerdo a las condiciones de almacenaje (Ambiente, temperatura, etc. durante un tiempo determinado) de interés.
- Terminar el análisis de una de las fracciones de cada preparación.
- Proseguir el análisis de cada una de las fracciones al término de cada condición de almacenaje, utilizando una solución de referencia recién preparada, si el método contempla el uso de una solución de referencia.
- Reportar el resultado.

b) Muestras independientes:

- A partir de una muestra homogénea, el analista debe analizar por duplicado hasta completar el análisis y obtener el resultado.
- Simultáneamente y de la misma muestra, procesar el número de muestras necesarias para cada condición de almacenaje hasta la etapa preestablecida (preparaciones) por duplicado.
- Proseguir el análisis de cada una de las preparaciones al término de cada condición de almacenaje, utilizando una solución de referencia recientemente preparada, si el método contempla el uso de una solución de referencia.
- Reportar el resultado.

c) Cálculos:

- Calcular la media aritmética del análisis inicial y de cada condición de almacenaje.
- Calcular la diferencia absoluta de la media aritmética de cada condición de almacenaje respecto del análisis inicial.

d) Criterios de aceptación:

- $|d_i| \leq 2\%$ para métodos cromatográficos y volumétricos
- $|d_i| \leq 3\%$ para métodos químicos o espectrofotométricos
- $|d_i| \leq 5\%$ para métodos biológicos
- No mayor a una magnitud preestablecida, acorde a la especificación del analito en la muestra.
- Otros criterio de aceptación, deben ser justificado.

1.3.6.3 LINEALIDAD DEL MÉTODO

La Linealidad de un método de análisis químico depende del tipo de muestra a tratar, y del tipo de respuesta esperada, generalmente la concentración de un analito es directamente proporcional a la señal esperada.

a) Cuando se conocen los componentes de la muestra y es posible preparar una matriz:

Un analista debe preparar una matriz con el tipo de componentes que generalmente están presentes en la muestra.

A la cantidad de matriz analítica equivalente a una muestra analítica por duplicado, adicionarle la cantidad de analito (puede ser una sustancia de referencia secundaria) correspondiente al 100% de este en la muestra.

Seleccionar al menos dos niveles, superior e inferior de la cantidad del analito (intervalo) y preparar la matriz adicionando al menos por duplicado a cada nivel, manteniendo constante la cantidad de matriz analítico en los tres niveles.

Los matriz adicionados deben ser analizados por un mismo analista bajo las mismas condiciones, utilizando como referencia, la sustancia empleada en la

adición al matriz analítico. Como lo indica el método, preparar 3 soluciones estándar al 100% de la concentración teórica.

Realizar una determinación de cada matriz adicionado, de acuerdo a la siguiente secuencia:

- Estándar.
- Matriz adicionado nivel inferior.
- Matriz adicionado 100%.
- Matriz adicionado nivel superior.
- Hasta terminar los 3 bloques.

Hacer cálculos, como lo indica el método para cada bloque de muestras con referencia a su estándar respectivo.

Determinar la cantidad recuperada del analito.

b) No se conocen los componentes de la muestra:

Un analista debe analizar la muestra con el método, para determinar el contenido del analito.

El mismo analista debe preparar por lo menos 3 muestras adicionadas, por ejemplo utilizando la mitad de la muestra analítica que originalmente requiere el método y adicionar el analito (puede ser una sustancia de referencia secundaria) hasta completar lo que represente el 100% de éste en la muestra.

Seleccionar al menos dos niveles, superior e inferior de la cantidad del analito (intervalo) y preparar la muestra adicionada al menos por duplicado a cada nivel, manteniendo constante la cantidad de muestra en los tres niveles.

Las muestras adicionadas deben ser analizadas por un mismo analista bajo las mismas condiciones utilizando como referencia la sustancia empleada en la adición de la muestra.

Realizar una determinación de cada preparación de muestra, de acuerdo a la siguiente secuencia:

- Estándar.
- Muestra adicionada nivel inferior.
- Muestra adicionada 100%.
- Muestra adicionada nivel superior.
- Hasta terminar los 3 bloques.

Hacer cálculos, como lo indica el método para cada bloque de muestras con referencia a su estándar respectivo.

Determinar la cantidad recuperada del analito.

Cuando no sea posible adicionar de manera directa el analito a la muestra, la adición puede ser llevada a cabo en alguna etapa del método. Se recomienda que la adición se lleve a cabo en las primeras etapas del método, para poder asegurar que las etapas posteriores, no den lugar a resultados incorrectos.

El intervalo (rango) de la concentración del analito adicionado, depende del propósito del método y debe incluir la especificación, los límites según una normativa en particular.

Cuadro 1.16: Rangos según el propósito de método cuantitativo (Guía ICH Q2A).

Propósito del Método	Especificación	Rango Recomendado para Estudiar la Linealidad
✓ Valoración del contenido de principio activo.	✓ En especialidades farmacéuticas de 90 – 110% a caducidad respecto al valor nominal.	✓ 80 -120%. ✓ 70 -130% (*).
✓ Uniformidad de contenido.	✓ En materia prima 98 – 102% o 99 – 101%.	✓ ± 20% respecto a la especificación.
✓ Disolución de principio activo Cuantificación de Impurezas.	✓ 85 -115%. ✓ Siendo Q la especificación establecida (según USP). ✓ Depende de cada impureza.	✓ Rango= (Q+20%, Q-20%). ✓ Desde el límite de cuantificación o desde el 50% de la especificación límite de cada impureza hasta un 120% de dicha especificación.

(*) En el caso de que el procedimiento analítico para el análisis del contenido y el de uniformidad coincidan, puede aprovecharse el mismo rango y evaluar la linealidad una sola vez entre el 70 – 130%.

Fuente: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (CONACYT), última versión octubre 2010.

Reportar la relación cantidad adicionada vs cantidad recuperada o señal obtenida.

Utilizando el método de estimación por mínimos cuadrados, calcular el valor de la pendiente (b), la ordenada en el origen (a), el coeficiente de determinación (r^2), el intervalo de confianza para la pendiente (IC(b)), el intervalo de confianza para la ordenada al origen (IC(a)), y el coeficiente de variación de regresión (CV y/x).

c) Calcular:

Promedio aritmética, la desviación estándar (S), el coeficiente de variación (CV) y el intervalo de confianza para la media poblacional IC (μ) del porcentaje de recobro.

d) Criterios de aceptación: Cantidad adicionada vs cantidad recuperada.

- $r^2 \geq 0.95$ (El criterio de aceptación definido por el laboratorio dependerá del tipo de análisis y del nivel de concentración del analito en la matriz).
- IC (b), debe incluir la unidad.
- IC (a), debe incluir el cero.
- El (CVy/x) del porcentaje de recobro no > 2% si el método es volumétrico o cromatográfico, no > 3% si el método es químico o espectrofotométrico.

e) Criterios de aceptación: Cantidad adicionada vs. Señal obtenida.

- $r^2 \geq 0.95$ (El criterio de aceptación definido por el laboratorio dependerá del tipo de análisis y del nivel de concentración del analito en la matriz).
- IC (b), no debe incluir el cero.
- El (CVy/x) del porcentaje de recobro no > 2% si el método es volumétrico o cromatográfico, no > 3% si el método es químico o espectrofotométrico.

1.3.6.4 INTERVALO O RANGO

Para cualquier método cuantitativo es necesario determinar el intervalo de concentraciones del analito o los valores de la propiedad relacionada, sobre los cuales el método puede aplicarse.

En el extremo inferior del intervalo de concentración los factores limitantes son los valores del límite de detección y/o de cuantificación. En el extremo superior del intervalo de concentración las limitaciones serán impuestas por varios efectos que dependen del sistema de respuesta del instrumento.

Cuadro 1.17: Determinación del Límite de Cuantificación de las muestra

Análisis	Tratamiento de Datos	Comentarios
Fortificar alícuotas de un blanco de muestra a varias concentraciones del analito cercanas al límite de detección.	A partir de los resultados calcular el límite de cuantificación.	El límite de cuantificación forma efectivamente el extremo inferior del rango ó intervalo de trabajo.

Fuente: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (CONACYT), última versión octubre 2010.

Es aconsejable investigar la varianza a lo largo del intervalo de trabajo. La relación entre la respuesta del instrumento con la concentración no tiene que ser perfectamente lineal para que un método sea efectivo, pero la curva debe ser repetible día con día.

Observe que los intervalos de trabajo pueden ser diferentes para distintas matrices de acuerdo al efecto de las interferencias que produce la matriz.

1.3.6.5 EXACTITUD

Veracidad

La evaluación práctica de la veracidad se fundamenta en la comparación de la media de los resultados de un método con relación a valores conocidos, es decir, la veracidad se determina contra un valor de referencia.

Se dispone de dos técnicas básicas: Verificación con respecto a los valores de referencia de un material caracterizado y comparación con otro método caracterizado.

Para verificar la veracidad utilizando un material de referencia, se determina la media y la desviación estándar de una serie de réplicas de una prueba y se compara contra el valor caracterizado del material de referencia.

El material de referencia ideal sería un material certificado de matriz natural, muy semejante a la muestra de interés. Claramente la disponibilidad de éstos materiales es limitada.

Los materiales de referencia para una validación pueden ser:

- a) Preparados por adición de materiales típicos con materiales de referencia con pureza certificada u otros materiales de pureza y estabilidad adecuada.
- b) Materiales típicos bien caracterizados, de estabilidad verificada internamente y conservados para control de calidad interno.

Cuadro 1.18: Verificación de la veracidad de un material de referencia.

Análisis	Tratamiento de Datos	Comentarios
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Efectuar 10 réplicas del material de referencia usando el método a validar. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comparar con un contraste estadístico adecuado el valor medio con el valor del material de referencia utilizado. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contraste “t” de un valor conocido contra una media poblacional.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Efectuar 10 réplicas del material de referencia usando el método a validar y un método oficial o validado. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comparar con un contraste estadístico adecuado los valores medios del material de referencia obtenido por ambos métodos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contraste “t” de Comparación de dos medias.

Fuentes: The Fitness for Purpose of Analytical Methods. Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics. EURACHEM, 1998.

1.3.6.6 PRECISIÓN

La precisión es medida mediante la repetibilidad, reproducibilidad y precisión intermedia.

Repetibilidad: Estudia la variabilidad del método efectuando una serie de análisis sobre la misma muestra en las mismas condiciones operativas (un mismo analista, mismos aparatos y reactivos, etc.) en un mismo laboratorio y en un tiempo corto.

Precisión Intermedia: Estudia la variabilidad del método efectuando una serie de análisis sobre la misma muestra, pero en condiciones operativas diferentes (diferentes analistas, aparatos, días, etc.) y en un mismo laboratorio.

Reproducibilidad: Estudia la variabilidad método bajo condiciones operativas diferentes y en distintos laboratorios.

1.3.6.7 LÍMITE DE DETECCIÓN Y LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN

Estos parámetros se relacionan con la cantidad de analito requerida para dar un resultado significativo, cualitativo o cuantitativo.

Según un resultado "positivo" no es suficiente para que el analista considere detectado un analito. Se precisa además, conocer el límite de detección en las condiciones del método; de lo contrario se puede incurrir en un falso positivo: suponer el analito presente en la muestra cuando de hecho no lo está.

El límite de Cuantificación es un término cuantitativo (menor cantidad medible) mientras que el límite de detección es cualitativo (menor cantidad detectable).

Numéricamente es mayor el límite de Cuantificación y representa la menor cantidad de analito que puede analizarse con un % de Coeficiente de Variación y de Recuperación aceptables.

Concentraciones menores pueden detectarse pero no cuantificarse.

Si las concentraciones a determinar son elevadas, se puede sustituir su estudio por la determinación de la precisión y la exactitud a la concentración más baja que presente el analito en la práctica.

1.3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para los fines de la validación del método, se evalúan los parámetros de rendimiento conforme a las mediciones estadísticas, que establecen si el método se encuentra dentro de parámetros aceptables.

De acuerdo a lo anterior se evalúan los siguientes parámetros:

Estimación del Límite de Detección:

Se analizaron las muestras y blancos fortificados por duplicado con el método de validación establecido, de tal forma que se obtienen siete grupos de resultados. Se calculan las respectivas concentraciones y con estos resultados se obtiene la desviación estándar de la media.

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum VarGi}{n}} \quad (1.1)$$

Donde:

$S_{\bar{x}}$ = Desviación Estándar de la Media

Var Gi = Varianza dentro de cada Grupo i

n= Cantidad de grupos

El límite de detección será 3 veces la desviación estándar de la media.

$$LD = S_{\bar{X}} * 3 \quad (1.2)$$

Estimación del Límite de Cuantificación:

Se analizan las muestras y blancos fortificados con el método establecido, de tal forma que se obtienen siete grupos de resultados con dos réplicas por grupo. Se calculan las respectivas concentraciones.

Con estos resultados se obtiene la desviación estándar de la media. El límite de cuantificación será 10 veces la desviación estándar de la media.

$$LC = S_{\bar{X}} * 10 \quad (1.3)$$

Estimación de la Recuperación:

Se analizan las muestras fortificados con el método establecido, de tal forma que se obtienen siete grupos de resultados con dos réplicas por grupo. Se calculan las respectivas concentraciones. Con estos resultados se obtiene la desviación estándar de la media.

La recuperación se calcula dividiendo la cantidad adicionada obtenida experimentalmente entre la cantidad adicionada teóricamente, o la concentración experimental entre la esperada. Luego se obtienen las respectivas recuperaciones para cada grupo y cada réplica dentro de cada grupo.

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{\text{Resultado Experimental de la Fortificación}}{\text{Nivel de Fortificación Teórico}} * 100 \quad (1.4)$$

Estimación de la Veracidad o Sesgo:

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Sesgo} = \text{Valor Absoluto}[1 - \text{Recuperación}] \quad (1.5)$$

La Precisión, expresada como Coeficiente de Variación (CV):

Se calcula dividiendo la desviación estándar de la media entre el promedio de los promedios y multiplicando por cien, de los resultados correspondientes a las muestras, muestras fortificadas o blancos fortificados antes obtenidos.

El resultado obtenido no debe superar el 15%.

$$\text{Coeficiente de Variación (CV)} = \frac{S\bar{X}}{Pp} \quad (1.6)$$

Análisis de Varianzas (ANOVA):

También se evalúa la precisión de los resultados utilizando el modelo de análisis de varianza, en el cual se compara más de dos medias entre sí.

$$F = \frac{CMe}{CMd} \quad (1.7)$$

Donde:

F = Factor obtenido a partir de valores experimentales.

CMe = Cuadrado medio o varianza entre grupos.

CMd = Cuadrado medio o varianza dentro de grupos.

Cuadrado medio o varianza entre grupos

$$CMe = \frac{SCe}{GLE} \quad (1.8)$$

Donde:

SCe = Suma de los cuadrados entre grupos.

GLE = Grados de libertad entre grupos.

Cuadrado medio o varianza dentro de grupo

$$CMd = \frac{SCd}{GLd} \quad (1.9)$$

Donde:

SCd = Suma de los cuadrados dentro de grupos.

GLd = Grados de Libertad dentro de grupos.

Suma de los cuadrados entre grupos

$$SCe = \frac{\sum (SumGi)^2}{b} - \frac{(\sum Xij)^2}{ab} \quad (1.10)$$

Donde:

Gi = grupo i.

a = Cantidad de grupos.

b = Tamaño del grupo o cantidad de filas.

X_{ij} = Dato ij .

Grados de libertad totales

$$GL_e = a - 1 \quad (1.11)$$

$$GL_d = a(b-1) \quad (1.12)$$

Suma de los cuadrados o varianza total

$$SC_{total} = \sum X_{ij}^2 - \frac{(\sum X_{ij})^2}{ab} \quad (1.13)$$

Suma de Cuadrados residuales o dentro del grupo, es decir, dentro de los métodos

$$SC_d = SC_{total} - SC_e \quad (1.14)$$

Sensibilidad:

Es la propiedad del método que demuestra la variación de respuesta en función de la concentración del analito. Puede ser expresada por la pendiente de la recta de regresión de calibración.

$$Pendiente (m) = \frac{Señal - Intercepto}{Concentración} \quad (1.15)$$

1.4 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

El índice de calidad del agua se utiliza para predecir el estado en que se encuentra un cuerpo de agua e indica el tipo de uso que se le pueda dar a este.

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar y difundir la información sobre la calidad del agua. De acuerdo con Ott (1978), los posibles usos de los índices son:

- a) Manejo del recurso: Provee información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- b) Clasificación de Áreas: Para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- c) Aplicación de normatividad: Permite determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- d) Análisis de la tendencia: El análisis de los índices en un periodo de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está empeorando o mejorando.
- e) Información pública: Los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- f) Investigación Científica: Simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

1.4.1 DEFINICIÓN DE CALIDAD DE AGUA

En vista de la complejidad de los factores que determinan la calidad del agua y la gran cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos, es difícil dar una definición simple de "Calidad del Agua".

Además, los conocimientos sobre calidad del agua han evolucionado a través del tiempo a medida que ha aumentado su demanda en diferentes usos y han mejorado los métodos para analizar e interpretar sus características.

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como:

- Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y
- La composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua.

La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua.

La contaminación de un ambiente acuático significa la introducción por el hombre directa o indirectamente de sustancias o energía lo cual resulta en problemas como: Daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades acuáticas como natación, buceo, pesca, etc.

La descripción de la calidad del agua puede realizarse básicamente de dos formas:

- Midiendo variables físicas (Conductividad eléctrica, Sólidos Sedimentables, pH, etc.), químicas (DBO_5) o biológicas (bioensayos).
- Utilizando un índice de calidad del agua.

Ambas formas son aceptadas y las mediciones que se requieren se realizan, ya sea en el campo o en el laboratorio, y producen una serie de datos que luego es necesario interpretar.

Antes de describir las propiedades y características del agua de mar, se hace una distinción de la calidad del agua de acuerdo con su estado; para ello se describen las diferencias entre agua cruda (superficial, subterránea, marina, etc.).

1.4.2 AGUA CRUDA O EN ESTADO NATURAL (SIN TRATAMIENTO)

El término agua cruda se refiere al agua que se encuentra en el ambiente (lluvia, superficial subterránea, océanos, etc.), que no ha recibido ningún tratamiento ni modificación en su estado natural.

Se puede afirmar que la calidad del agua que se encuentra en forma natural depende de la posición geográfica, origen (mar, subterránea, superficial) y hábitos de los pobladores. Las fuentes principales de abastecimiento de agua en nuestro medio son las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

Las aguas superficiales están constituidas por quebradas, ríos, lagos, embalses, etc. Según su origen, los ríos que nacen cerca de zonas mineras son generalmente aguas ácidas y los ríos montañosos tienen agua con temperaturas más bajas que los que recorren los valles, etc.

Fenómenos naturales como la erosión arrastran sedimentos que hacen variar la calidad del agua de los ríos, quebradas, etc. La causa más importante en la variación de la calidad del agua original de una fuente superficial es la actividad humana.

Actividades como la industria, el uso extensivo de pesticidas y abonos en la agricultura, la explotación minera, la descarga de basuras y el vertimiento de los desechos domésticos son los causantes del deterioro en que se encuentran actualmente los ríos y quebradas que finalmente desembocan en el mar.

En conclusión, las aguas superficiales presentan condiciones que varían de una cuenca a otra, los ríos tienen características de calidad diferentes a las de los embalses y, además, la calidad del agua de las fuentes superficiales es variable con el tiempo.

En cuanto a las aguas subterráneas, estas presentan condiciones de calidad más uniformes y distintas que las de las fuentes superficiales; generalmente son más claras pero más mineralizadas.

Son más claras porque no reciben la misma cantidad de contaminantes que se vierten a las superficiales, y además, al infiltrarse en el terreno gran parte del material suspendido queda retenido en el suelo.

Las aguas subterráneas son más mineralizadas porque tienen un gran poder para disolver los estratos del suelo, principalmente aquellos terrenos ricos en hierro y manganeso.

1.4.3 PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR

El agua de mar es una disolución en agua (H_2O) de muy diversas sustancias. Hasta los 2/3 de los elementos químicos naturales están presentes en el agua de mar, aunque la mayoría sólo como trazas. Seis componentes, todos ellos iones, dan cuenta de más del 99% de la composición de solutos. La tabla adjunta enumera los más abundantes.

Cuadro 1.19: Composición de solutos sólidos del agua de mar, expresado en porcentaje.

Aniones		Cationes	
Cloruro (Cl ⁻)	55.29 %	Sodio (Na ⁺)	30.75 %
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	7.75 %	Magnesio (Mg ²⁺)	3.70 %
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	0.41 %	Calcio (Ca ²⁺)	1.18 %
Bromuro (Br ⁻)	0.19 %	Potasio (K ⁺)	1.14 %
Flúor (F ⁻)	0.0037 %	Estroncio (Sr ²⁺)	0.022 %
Molécula no disociada		Ácido bórico (H ₃ BO ₃)	0.076 %

Fuente: Colección científica de Time Life. El Agua. Luna B. Leopold, Kenneth, S. Davis. Ed. Lito Offset Latina S.A. México.

El estudio de la composición se simplifica por el hecho de que las proporciones de los componentes son siempre aproximadamente las mismas, aunque la concentración conjunta de todos ellos es enormemente variable.

Nos referimos a esa concentración total como salinidad, que suele expresarse en tanto por mil (ppt) o unidad practicas de salinidad (ups). La salinidad suele ser estimada a partir de la medición de un solo parámetro, como la conductividad eléctrica, el índice de refracción o la concentración de uno de sus componentes, generalmente el ion cloruro (Cl⁻).

La salinidad presenta variaciones cuando se comparan las cuencas, las distintas latitudes o las diferentes profundidades. Favorece una salinidad más elevada la evaporación más intensa propia de las latitudes tropicales, sobre todo en la superficie, y una menor salinidad la proximidad de la desembocadura de ríos caudalosos y las precipitaciones elevadas.

La densidad del agua del mar es una de sus propiedades más importantes. Su variación provoca corrientes. Es determinada usando la ecuación internacional de estado del agua de mar a presión atmosférica, que es formulada por la UNESCO (UNESCO Technical Papers in Marine Science, 1981) a partir de los trabajos realizados a lo largo de todo este siglo para conocer las relaciones entre las variables termodinámicas del agua del mar: densidad, presión, salinidad y temperatura.

La densidad de la típica agua del mar (agua salada con un 3,5% de sales disueltas) suele ser de 1.02819 kg/L a los -2 °C, 1.02811 a los 0 °C, 1.02778 a los 4 °C, etc.

La densidad del agua de mar depende de las tres variables: Salinidad (s), Temperatura (t) y Presión (p). Para simbolizar la densidad se emplea generalmente la letra griega ρ (rho) y para indicar que es función de las tres variables se escribe ρ (s,t,p).

1.4.4 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Para saber qué tan pura o qué tan contaminada está el agua es necesario medir ciertos parámetros. Los parámetros de calidad del agua están clasificados en físicos, químicos y biológicos.

Como se puede intuir existen muchos parámetros, muchas formas y varios métodos para medir dichos parámetros. Para obviar estos problemas, las agencias internacionales encargadas de vigilar y estudiar la calidad del agua han estandarizado (unificado) los criterios y los métodos para realizar los análisis del agua en el laboratorio.

La publicación que recopila la metodología de laboratorio se titula: Standard Methods for Water and Wastewater Examination.

Parámetros Físicos

Se clasifican como parámetros físicos aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua. Entre las cuales se analizarán:

a) pH:

El pH es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Por convención está definido como:

$$pH = -\log[H^+] \quad (1.16)$$

Por análisis químicos se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14.

La escala de valores del pH se asemeja a la de un termómetro. Mientras que la escala de un termómetro mide la intensidad de calor, el pH mide la intensidad de la acidez o basicidad. Es importante decir que el pH mide el grado de acidez o de alcalinidad pero no determina el valor de la acidez ni de la alcalinidad.

El pH se puede medir en el campo o en el laboratorio por medio de instrumentos electrónicos (pHmetro).

En la actualidad la técnica más exacta, usada para la medición del pH es la potenciométrica, que se fundamenta en la medida de la diferencia de potencial experimentada en dos celdas electroquímicas (denominadas electrodos), se emplea un electrodo combinado de membrana de vidrio y uno de calomel como referencia.

Los equipos actuales combinan estas dos celdas electrolíticas en un mismo sensor, y poseen programas electrónicos internos que dan la medida directa a partir de la diferencia de potencial, facilitando la lectura de este parámetro.

Los medidores de pH (pHmetro) modernos poseen un mecanismo electrónico que compensa automáticamente la medida con respecto a la temperatura, mostrando de esta forma el valor real de pH a la temperatura de medición.

b) Temperatura:

La temperatura es tal vez el parámetro físico más importante del agua. Las lecturas de temperatura son usadas en operaciones generales de laboratorio. Además, las temperaturas elevadas en un ecosistema acuático pueden tener un impacto ecológico significativo.

Normalmente, las medidas pueden hacerse con un termómetro Celsius (centígrado) con columna de mercurio, el cual mínimo debe tener escala marcada cada 0.1°C . Para prevenir rupturas en labores de campo, se recomienda un termómetro con protección. En la actualidad se emplean muchos medidores electrónicos provistos con sondas, los cuales poseen termocouplas o termistores en su interior.

Este método es aplicable a todo tipo de aguas naturales, efluentes industriales y domésticos. Su precisión viene dada por el equipo utilizado para la determinación; existen termómetros de mercurio que permiten mediciones con $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, y equipos electrónicos con sensores (termo-resistencias y termocouplas), que permiten precisión de $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$.

c) Salinidad:

El conocimiento de la salinidad es fundamental en estudios oceanográficos, pues es necesario para la determinación de corrientes y la identificación de masas de aguas. En estudios ambientales es un factor importante porque puede significar la presencia o no de organismos y peces.

La salinidad se puede calcular a partir de la conductividad, el resultado es numéricamente menor que el residuo filtrable y se reporta usualmente como gramos por litro o psu.

Actualmente en la mayoría de laboratorios la salinidad se mide por medio de la conductividad, en el agua, esta capacidad se ve influenciada por la cantidad de sales disueltas y la temperatura.

Esto significa que a mayor contenido de sales, mayor conductividad; de esta forma, se puede emplear esta propiedad para medir el contenido de sales en una muestra de agua.

Hoy en día existen equipos que miden la conductividad y la temperatura de una muestra de agua, y calculan la salinidad a través de programas electrónicos internos.

En los salinómetros de inducción se genera un campo eléctrico que induce una corriente eléctrica a través de una bobina por la que circula el fluido; esta corriente generada es proporcional a la salinidad de la muestra, de esta manera se emplea dicha propiedad para medir la concentración de sales disueltas en un líquido.

d) Conductividad Eléctrica:

La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Se mide en micromhos/cm o Siemens/cm.

La conductividad es una medida indirecta de los sólidos disueltos. De acuerdo con la experiencia se pueden correlacionar con la siguiente expresión:

Sólidos totales disueltos (mg/L) = 0,55 a 0,7 (Conductividad) ($\mu\text{mhos/cm}$) en agua dulce.

Las aguas que contienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas.

e) Sólidos Sedimentables:

El material sedimentable, en aguas superficiales y salinas así como en desechos domésticos e industriales, puede determinarse y reportarse sobre una base de volumen (ml/l) o de peso (mg/l).

La prueba volumétrica requiere únicamente un cono de Imhoff, el cual se llena con muestra hasta la marca de un litro, y se deja reposar por 45 minutos agitando ligeramente los lados del cono con una barra por intervalos de 15 min, luego se registra el volumen de material sedimentado en el cono en ml/l.

f) Sólidos Suspendidos Totales:

Los sólidos totales en suspensión son el material retenido sobre un filtro estándar después de la filtración de una muestra bien mezclada de agua. Estos sólidos son secados a 103 - 105 °C.

Si el material suspendido se atasca en el filtro prolongando el tiempo de filtración, puede ser necesario incrementar el diámetro de los filtros o decrecer el volumen de muestra. Para obtener un estimativo de los sólidos en suspensión se puede calcular la diferencia entre los sólidos totales y los filtrables (disueltos) totales.

Parámetros Químicos

g) Oxígeno Disuelto:

El oxígeno (O₂) procedente de la atmósfera se disuelve directamente en las aguas superficiales, o se genera mediante la fotosíntesis en las capas superiores iluminadas.

Con el aumento de la profundidad, el O₂ disminuye, en parte, al ser consumido por la respiración de microorganismos y de otro lado, por la descomposición microbiana de los detritos orgánicos y por el fenómeno de absorción.

Su índice de saturación en el agua de mar con una salinidad de 27.1 ‰, temperatura de 25°C y presión de 1 atmósfera, es de 7.08 mg/l (4.96 ml/l).

La vida, el crecimiento de microorganismos y el desarrollo de sus actividades metabólicas específicas, dependen de la disponibilidad de oxígeno molecular. Algunos procesos tienen lugar solamente bajo condiciones aerobias, otros en cambio, son estrictamente anaerobios.

La evaluación del oxígeno disuelto (OD) en todo sistema de agua natural, es de importancia fundamental para conocer la distribución de organismos en los océanos, para los estudios de descomposición de materia orgánica y para la de productividad de los mismos.

Se han desarrollado varios métodos analíticos para su estimación. Los volumétricos, gasométricos y la cromatografía de gases han sido utilizados en primera instancia. En los últimos años se ha avanzado mucho en equipos electrónicos para la determinación del OD con electrodos de membrana.

h) Demanda Bioquímica de Oxígeno:

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de un afluente doméstico, industrial o natural, es la cantidad de oxígeno disuelto que puede ser consumido por oxidación bioquímica de materia orgánica degradable, bajo condiciones específicas.

La DBO es solamente un índice general, cualitativo o semicuantitativo de los compuestos orgánicos susceptibles de ser degradados en un corto período de tiempo.

El valor de la DBO, es con frecuencia incorrectamente usado como equivalente a la carga orgánica del agua o aguas de desecho, sin considerar la presencia de compuestos orgánicos no degradables.

Dependiendo del agua a investigar, el método incluye o no, la dilución de ciertas porciones de muestra con agua saturada de oxígeno e inoculación de un cultivo de microorganismos.

El oxígeno disuelto se analiza en muestras por separado, al principio y al final del tiempo de incubación, normalmente 5 ó 7 días (DBO₅ o DBO₇) a 20°C.

El contenido de oxígeno disuelto se mide por titulación, utilizando el Método de Winkler o por uso de electrodos de membrana sensibles al oxígeno.

Las pruebas de DBO se aplican para calcular el efecto que producen los efluentes domésticos o industriales, sobre el contenido de oxígeno en los cuerpos de agua receptoras y para evaluar su capacidad para asimilar descargas.

Se han desarrollado varias técnicas para la determinación de la DBO, en vista de su gran aplicación y la necesidad de métodos menos dispendiosos (cuando se trata de muestras que requieren dilución); en proyectos de ingeniería, control de plantas depuradoras, caracterización de cuerpos de agua y calibración de modelos matemáticos.

Muchas de estas técnicas se basan en métodos respirométricos; existen respirómetros manométricos, volumétricos y electrolíticos, también se ha avanzado gracias al desarrollo de los sensores de membrana para la determinación del oxígeno disuelto.

1.4.5 DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA CANADIENSE CCME WQI

El índice CCME WQI⁴ de Canadá, es un método general para caracterizar el estado de un cuerpo de agua a través de diversos parámetros fisicoquímicos y biológicos.

El cuerpo de agua al que se le aplica el índice puede estar definido por un punto de muestreo o por varios. Con un solo punto se obtendrán buenos resultados si se cuenta con suficientes datos para el mismo. Entre más puntos se incluyan, más general será la conclusión a la que se llegue, aunque se perderá la información de la posible variabilidad entre dichos puntos.

El período de tiempo escogido dependerá de la cantidad de datos disponibles y de los requerimientos del usuario. Usualmente se emplea un período mínimo de un año debido a que los datos sobre un cuerpo de agua se colectan para cubrir este espacio de tiempo. Se pueden combinar datos de años diferentes, especialmente cuando la información en cierto año está incompleta, pero al igual que con los puntos de muestreo se perderá información sobre la variabilidad.

⁴Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index

Aunque no se especifica un número máximo de parámetros, es recomendable que para el cálculo del índice se empleen como mínimo cuatro parámetros del que se tengan por lo menos tres valores (3 muestreos). La selección de los parámetros es crítica para garantizar que el índice nos dé una información acertada del sistema que se estudia.

Escoger un pequeño número de parámetros para los cuales no se cumple con lo normado dará una idea muy diferente del sistema de la que se obtiene si se considera un gran número de variables de las cuales solo un número pequeño no cumplirán con lo deseado.

El índice canadiense CCME WQI, está representado por 3 factores que dependen de la cantidad y tipo de parámetros que se apliquen al cuerpo de agua en estudio, los cuales son:

- F1 (Alcance).
- F2 (Frecuencia).
- F3 (Amplitud).

Una vez que se tienen los tres factores, el índice puede calcularse, sumándose los tres valores como si fueran vectores. La suma de los cuadrados de cada factor es igual al cuadrado del índice.

Esta aproximación trata al índice como un espacio tridimensional donde los factores se colocan a lo largo de cada eje (x, y, z). Con este modelo, el índice cambia de manera directamente proporcional con los cambios que se produzcan en los valores de los factores.

Como puede apreciarse, este índice tiene como ventaja que no requiere de realizar transformaciones a los parámetros que participan de la evaluación y evita la subjetividad de asignar diferente importancia o peso de los mismos dentro del cálculo del índice.

Asimismo, identifica aquellos parámetros que no cumplen con los niveles establecidos y la frecuencia en que se esto se produce. A diferencia del índice de la NSF⁵ que se calcula como el promedio ponderado de las transformaciones de los distintos parámetros, este representa la distancia geométrica entre los niveles

⁵ Índice de Calidad de Agua desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF).

que establecen la legislación para los diferentes parámetros que lo caracterizan y el estado en que se encuentra el recurso.

En su elaboración no se obliga a adoptar parámetros específicos para el cálculo, sino que deja abierta la elección de los mismos al buen juicio profesional, situación diferente en los otros índices donde no se admiten que los parámetros sean modificados de acuerdo a las características naturales del recurso.

El ICA es una herramienta muy útil para comunicar información sobre la calidad del agua a las autoridades y al público. Puede darnos rápidamente una imagen general del estado del recurso. Es muy útil para propósitos comparativos, por ejemplo que puntos de muestreo muestran peor calidad del agua.

Cualquier índice, por su diseño, contiene menos información que los datos a partir del cual se obtiene y del que constituye un resumen, por tanto no puede reemplazar el análisis detallado de los datos obtenidos a partir de un plan de monitoreo. Tampoco debe usarse como único criterio para la toma de decisión y el manejo de los recursos hídricos.

CAPÍTULO II

2. MARCO LEGAL

2.1. LEGISLACIÓN DE EL SALVADOR

En El Salvador no existe una legislación específica para contaminantes fisicoquímicos o microbiológicos en cuerpos de agua salada, pero en ausencia de estas existen otras leyes, normativas, reglamentos, etc., que se relacionan en forma general, sobre la contaminación y el deterioro de las zonas naturales protegidas.

Las leyes que se aplican en el caso de la Bahía de Jiquilisco son:

a) LEY GENERAL DE ORDENACIÓN Y PROMOCIÓN DE PESCA Y ACUICULTURA. (2001). TOMO 353.

El Art. 1 tiene por objeto regular la ordenación y promoción de las actividades de pesca y acuicultura, asegurando la conservación y el desarrollo sostenible de los recursos hidrobiológicos.

El Art. 2 dice que forman parte del patrimonio nacional los recursos hidrobiológicos que se encuentran en aguas jurisdiccionales tanto del mar como de cuerpos de aguas marinas interiores, continentales e insulares, así como en tierras y aguas nacionales aptas para la acuicultura.

El Art. 3 declara el interés social, protección y el desarrollo sostenible de los recursos hidrobiológicos, conciliándose los principios de conservación o preservación a largo plazo de los mismos con su óptimo aprovechamiento racional.

Respecto a las autoridades competentes, el Art. 7 dicta que Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), es el ente rector de la política y la planificación de la ordenación y promoción de la pesca y la acuicultura.

Así mismo el Art. 8 designa El Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA) como una Dirección General del MAG y será la autoridad competente de aplicar la presente Ley, sus Reglamentos y demás disposiciones

legales aplicables, el cual estará sujeto a un plan de desarrollo institucional para una adecuada aplicación de la presente Ley.

Esta ley de Pesca es apoyada por 2 resoluciones, una para regular específicamente toda la actividad pesquera de la Bahía de Jiquilisco, que fue publicada en el diario oficial el 22 de julio del 2003 y tiene vigencia indefinida.

La otra resolución regula específicamente la pesca de las distintas especies de sardinas que se dan en dicha zona, esta fue publicada en el diario oficial el 10 de septiembre del 2004 y tiene un período de validez indefinido.

**b) REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY DE MEDIO AMBIENTE (2000).
REFORMA: 29 DE MAYO DE 2009. TOMO 383**

Este reglamento define los criterios para la protección de los recursos hídricos; la importancia de la participación de los usuarios y administradores del agua; el derecho de aprovechamiento del agua y el control sobre el uso y goce de las aguas. Entre los criterios para la protección del recurso hídrico destacan que los usos de las aguas (ya sean superficiales, subterráneas o costeras) deberán planificarse de acuerdo a las evaluaciones de calidad y cantidad disponible.

Además, los diferentes usos no deberán de exceder la capacidad para el mantenimiento de los ecosistemas. Con respecto a la participación de los usuarios del recurso se recomienda la consolidación de las comunidades en la administración de los recursos, el establecimiento de una valoración económica del agua para un uso eficiente y la implementación de tecnologías limpias en los procesos productivos.

Los aspectos de gestión se basan en las medidas para el control y reducción de las descargas de aguas residuales; las medidas de aprovechamiento y protección de los recursos superficiales, subterráneos y marinos; y las medidas para la reducción de las descargas de cualquier tipo de contaminante.

Situación Actual

El marco legal existente en El Salvador para aplicación en agua salada es infuncional y fragmentado, de tal forma que no es apto para dar respuesta a la problemática de consumo y saneamiento de las aguas; en el **Cuadro 2.1** se

muestra una recopilación del Marco Legal para el Manejo de los Recursos Hídricos.

Los conflictos más comunes se dan entre los usuarios del agua para consumo humano (entre comunidades rurales y complejos habitaciones urbanos) y para uso industrial. Y una de las causas de estos, es la falta de tratamiento previo a los vertidos y el impacto que esto conlleva en los ecosistemas y en la disponibilidad de fuentes de agua superficial.

“El estado actual de las costas de El Salvador refleja que a pesar de la poca conciencia que hay sobre un desarrollo económico sostenible, los niveles de degradación no son afortunadamente altos. Esto se debe fundamentalmente a los niveles de presión sobre los recursos que albergan las costas.”⁶

Cuadro 2.1: Marco Legal de El Salvador, para el Manejo de los Recursos Hídricos.

Instrumento Legal	Breve Descripción
Constitución Política	Declara como interés social la protección, restauración, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales (Art. 117); y establece la autonomía de los municipios en cuanto a lo económico, técnico y administrativo, facultándolos a decretar Ordenanzas y Reglamentos locales.
Ley General del Medio Ambiente	Otorga competencias al Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, así como al Ministerio de Salud Pública, sobre la prevención y control de la contaminación. Establece que para proteger el recurso hídrico debe promoverse el manejo integrado de cuencas hidrográficas y la protección del medio costero-marino de toda clase de vertidos y derrames.
Ley Forestal	Declara de utilidad pública la conservación e incremento de los recursos forestales para la protección de cuencas hidrográficas; así mismo prohíbe cortar, destruir, dañar o arrancar árboles de bosques, tierras forestales y de las zonas protectoras del suelo, cualquiera sea el régimen de propiedad.
Reglamento Especial de Aguas Residuales	Propone velar porque las aguas residuales no alteren la calidad de las fuentes receptoras para contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico (Art. 1).
Reglamento Especial de Normas	Determina los lineamientos o directrices para el establecimiento de normas técnicas de calidad ambiental en los medios receptores y

⁶Información presentada por el Gobierno de El Salvador ante la séptima sesión de la Comisión de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas.

Instrumento Legal	Breve Descripción
Técnicas de Calidad Ambiental	los mecanismos de aplicación de dichas normas. Indica los parámetros de calidad para cuerpos superficiales, en los que se deberá fundamentar la Norma de Calidad de Agua.
Ley de ANDA	Dicha ley, faculta a ANDA para adquirir, utilizar y tratar aguas superficiales y subterráneas; así como disponer de ellas para poblaciones y zonas rurales. Puede construir y reconstruir obras e instalaciones para abastecimiento de agua potable y la disposición final de aguas residuales. Y establece que las alcaldías y corporaciones municipales harán entrega a ANDA de acueductos y alcantarillados para su administración, sin retribución o indemnización (Art. 25). En el Art. 70, menciona que ANDA gozará de preferencia para usar y aprovechar cualquier cuerpo de agua y bienes de propiedad nacional o particular necesarios para el abastecimiento de agua.
Ley de Riego y Avenamiento del Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG	El objetivo de dicho marco normativo es incrementar la producción y productividad agropecuaria mediante la utilización racional de los recursos suelo y agua. Reconoce que los recursos hídricos son bienes nacionales y que el agua para consumo humano goza de prioridad (Arts. 3 y 4); así mismo se propone impedir la contaminación hídrica (Art. 101).
Decreto No. 50	Faculta al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y al Ministerio de Obras Públicas a establecer condiciones de los vertidos líquidos contaminantes a manera de conservar objetivos de calidad preestablecidos.
Código de Salud	Prohíbe la descarga de residuos de cualquier naturaleza en los cuerpos de agua (Art. 67) e igualmente prohíbe descargar aguas servidas y negras en las vías públicas y otros sitios no autorizados para ello.
Código Penal	Dictaminan penas para aquellos que contaminen, envenenen, adulteren o corrompieren de modo peligroso los recursos hídricos.
Código Municipal	Declara la autonomía de los municipios, establece que es competencia municipal la protección de los recursos renovables y faculta a los Concejos Municipales para emitir ordenanzas municipales (Art. 30).
Ordenanzas Municipales	Instrumentos jurídicos con los que cuentan los municipios para regular sus competencias y en particular para proteger los recursos naturales.

Fuente: Rosales Ayala, 2012.

Actualmente, tres marcos legales concernientes a los recursos hídricos han estado siendo trabajados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), con el fin de ordenar el sector en momentos en que El Salvador se acerca al denominado estrés hídrico.

Los instrumentos legales en estudio son: La Política del Agua, su respectiva Estrategia Nacional y La Ley General de Aguas.

La elaboración de estos ha contado con el apoyo del Fondo de Agua de España, que suscribió con el Gobierno de El Salvador en octubre del 2010 un Marco de Asociación para el Desarrollo que incluye inversiones en agua.

El 31 de marzo de 2011, un equipo interinstitucional del Gobierno de El Salvador inició la construcción de la Política del Recurso Hídrico en El Salvador, con la participación de una serie de actores involucrados en el manejo del agua.

La estrategia del Gobierno en cuanto al marco legal consistió en elaborar la Política Integral de Recursos Hídricos, elaborar la Ley General de Agua y la Ley de Agua Potable y Saneamiento, esta última a cargo de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).

El 22 de marzo de 2012, con motivo de la celebración del Día Mundial del Agua; a iniciativa del Presidente de la República de El Salvador a través del Ministro de Medio Ambiente y Recursos Naturales, se presentó a la Asamblea Legislativa de El Salvador el anteproyecto de Ley General de Aguas; la cual reconoce el derecho humano al agua y hace énfasis en el enfoque de cuencas.

La propuesta de Ley General de Aguas tiene como objetivo regular la gestión integral de las aguas continentales, insulares, estuarinas y marinas dentro del territorio nacional, y cualquiera que sea su ubicación, estado físico, calidad o condición natural, para garantizar la sustentabilidad del derecho del agua.

Además busca desarrollar el marco regulatorio sobre la gestión de agua, el establecimiento de la institucionalidad que ordene y articule los usos y aprovechamientos del recurso, el desarrollo de instrumentos de planificación, la coordinación entre organismos estatales y la sociedad salvadoreña.

Los objetivos específicos de esta Ley son:

- Desarrollar un marco regulatorio sobre la gestión del agua como un bien nacional, incluyendo los derechos, uso y aprovechamiento, protección, conservación y recuperación, la protección de las cuencas hidrográficas y de los ecosistemas, respetando las fases del ciclo hidrológico;
- Establecer la institucionalidad que ordene y articule los usos y aprovechamientos del recurso hídrico;
- Establecer o facilitar el desarrollo de instrumentos de planificación, técnicos, legales y económico-financieros para la gestión integral del recurso;
- Promover la coordinación entre los organismos estatales, los gobiernos municipales y las organizaciones comunitarias, campesinas, ambientalistas, de consumidores, académicas, de usuarias y usuarios a nivel local, regional y nacional, para una adecuada gestión del agua; y
- Promover la participación activa y corresponsable de la sociedad salvadoreña y en particular la equidad e igualdad entre mujeres y hombres en el acceso, uso y decisión sobre los recursos hídricos.

2.1.1. LEY DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS. DECRETO LEGISLATIVO Nº 579 TOMO Nº 366.

Objeto

El Art.1de la presente Ley tiene por objeto regular el establecimiento del régimen legal, administración, manejo e incremento de las Áreas Naturales Protegidas, con el fin de conservar la diversidad biológica, asegurar el funcionamiento de los procesos ecológicos esenciales y garantizar la perpetuidad de los sistemas naturales, a través de un manejo sostenible para beneficio de los habitantes del país.

Ámbito de Aplicación

El Art. 2 establece la aplicabilidad de la presente Ley en todo el territorio nacional, especialmente en las Áreas Naturales Protegidas.

Declaratoria de Interés Social

El Art. 3 declara de interés social, el establecimiento, manejo y desarrollo de las Áreas Naturales Protegidas que forman parte del Patrimonio Natural del país.

Autoridad Competente

El Art. 5 designa al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, como autoridad competente para conocer y resolver sobre toda actividad relacionada con las Áreas Naturales Protegidas y los recursos que éstas contienen, aplicando las disposiciones de esta Ley y su Reglamento prevaleciendo sobre otras leyes que la contraríen. El Ministerio podrá delegar determinadas facultades para la aplicación de la presente Ley.

Atribuciones y Responsabilidades

El Art. 6 en su papel de rector del Sistema de Áreas Naturales Protegidas, corresponde al Ministerio:

- a) Cumplir y hacer cumplir la presente Ley, sus Reglamentos y los Convenios Internacionales ratificados sobre la materia, dentro de las Áreas que conforman el Sistema de Áreas Naturales Protegidas;
- b) Realizar la gestión de las Áreas Naturales Protegidas que conforman el Sistema;
- c) Promover y desarrollar actividades de protección, conservación, restauración y manejo sostenible de los recursos naturales contenidas en las Áreas, incluyendo la biodiversidad y la riqueza genética;
- d) Emitir acuerdos ejecutivos para la delegación de la gestión de las Áreas Naturales Protegidas, previos al cumplimiento de los requisitos establecidos en la presente Ley y su Reglamento;
- e) Suscribir convenios con personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, nacionales o extranjeras, para la investigación científica, obtención de recursos, realizar actividades de protección, ampliación, conservación, restauración y manejo sostenible de las Áreas;
- f) Elaborar políticas y sus instrumentos sobre las Áreas Naturales Protegidas;

- g) Ejercer control a los entes relacionados en el literal d) de éste artículo, en la planificación, ejecución y seguimiento de proyectos de investigación, conservación, uso sostenible, desarrollo, educación ambiental, capacitación, divulgación y todos aquellos relacionados con las Áreas Naturales Protegidas;
- h) Otorgar las autorizaciones previstas en esta Ley y su reglamento, suspenderlas o cancelarlas, por causa justificada;
- i) Generar, recopilar, actualizar y publicar información sobre el Sistema de Áreas Naturales Protegidas e incorporar ésta en el informe que establece la Ley de Medio Ambiente, enmarcado en el Sistema de Información Ambiental;
- i) Emitir normas para la elaboración de los Planes de Manejo y Planes Operativos de las Áreas Naturales Protegidas;
- j) Promover la elaboración, mantenimiento, actualización de los inventarios y valoración de los recursos naturales contenidos en las Áreas naturales protegidas
- k) Promover la conexión ecológica y conectividad entre Áreas Naturales Protegidas para la consolidación del Corredor Biológico Nacional;
- l) Declarar vedas para la conservación de los recursos contenidos en las Áreas Naturales Protegidas;
- m) Autorizar, modificar, supervisar y dar seguimiento a los Planes de Manejo y Planes Operativos de las Áreas Naturales Protegidas;
- n) Garantizar la conservación de la diversidad biológica;
- o) Promover y divulgar todo lo concerniente al Sistema de Área Natural Protegida, a nivel nacional e internacional
- p) Identificar y hacer gestiones para incorporar al Sistema de Áreas Naturales Protegidas, Áreas representativas de ecosistemas de alto valor ecológico para el país;
- q) Combatir la biopiratería en las áreas naturales protegidas a fin de proteger el patrimonio natural;

r) Las demás atribuciones que por Ley o reglamento le corresponde.

Para el cumplimiento de las funciones, atribuciones y responsabilidades establecidas en la presente ley, el Ministerio deberá contar con una Unidad especializada, pudiendo participar las municipalidades y entes privados que posean bienes incorporados al Sistema de Áreas Naturales Protegidas.

Obligatoriedad Institucional

Art. 7. Todas las instituciones de la administración pública y las municipalidades, están obligadas a prestar su colaboración a la autoridad competente a fin de lograr una mejor y eficiente gestión de las Áreas Naturales Protegidas del país.

2.2. LEGISLACIÓN EXTRANJERA

Se ha encontrado un Marco Legal sólido, en materia de manejo de los recursos hídricos, en muchos de los países de Latinoamérica. A continuación se presentan algunos de ellos:

MÉXICO

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que expidió la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México y fue ratificada previa a su revisión quinquenal, publicada en el diario oficial de la federación el 23 de abril de 2003, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (**Cuadro 2.2**).

Cuadro 2.2: Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas.

PARÁMETROS	AGUAS COSTERAS					
	Explotación Pesquera, Navegación y Otros Usos		Recreación		Estuarios	
	Promedio Mensual	Promedio Diario	Promedio Mensual	Promedio Diario	Promedio Mensual	Promedio Diario
Temperatura °C (Instantáneo)	40	40	40	40	40	40
Sólidos Sedimentables	1	2	1	2	1	2

PARÁMETROS		AGUAS COSTERAS				
Em mg/L (Excepto cuando se especifique)	Explotación Pesquera, Navegación y Otros Usos		Recreación		Estuarios	
	Promedio Mensual	Promedio Diario	Promedio Mensual	Promedio Diario	Promedio Mensual	Promedio Diario
(ml/l)						
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	150	200	75	150	75	150

Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México.

PERÚ:

En Perú, existe la Ley General de Aguas promulgada por Decreto de Ley 17752 del 24 de julio de 1969, modificada según 014-92 EM del 03 de junio de 1992.

Sus reglamentos y modificaciones, basados sobre la materia dentro del ámbito nacional, estableciendo que las aguas sin excepción alguna son de propiedad del Estado y que su dominio es inalienable e imprescriptible, por lo que el uso racional y justificado del agua sólo puede ser otorgado en armonía con el interés social y el desarrollo del país (Art. 1), formulando el Estado la política que rige su utilización y preservación (Art. 2º).

También indica que “Ningún vertimiento de residuos sólidos, líquidos o gaseosos podrá ser efectuado en las aguas marítimas o terrestres del país sin la previa autorización de la Autoridad Sanitaria” (D.S. N° 261-69-AP, Art. 57º).

La Ley establece categorías de uso de las aguas de los cursos de agua sobre la base de características fisicoquímicas que debían reunir las aguas para ser consideradas aptas para el uso correspondiente (Arts. 81º y 82º).

Dichas categorías fueron modificadas mediante el D.S. N° 007-83-SA, definiendo 6 clases de usos y sus parámetros (**Cuadro 2.3**).

En resumen, la Ley General de Aguas vigente en Perú, sólo regula la concentración de determinados compuestos. Esta norma regula solo concentraciones, como único instrumento para el control de la contaminación de las aguas (**Cuadro 2.4**).

Cuadro 2.3: Límites máximos permisibles de las sustancias potencialmente tóxicas para las seis clases de aguas.

Categoría	Descripción de Uso
I	Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección
II	Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y coloración aprobados por el ministerio de salud.
III	Aguas de riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales
IV	Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares)
V	Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos
VI	Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial.

Fuente: Ley General de Aguas, Perú.

Cuadro 2.4: Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas.

Parámetros	Unidad	Uso de Cursos de Agua					
		I	II	III	IV	V	VI
DBO	mg/L	5	5	15	10	10	10
Temperatura	°C	---	---	---	$\Delta \pm 3$	$\Delta \pm 3$	$\Delta \pm 3$
pH	-	5.5 – 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	7 – 8.5	6 - 9
Sólidos Suspendidos	mg/L	10	10	10	100	100	---
Oxígeno Disuelto	mg/L	3	3	3	3	5	4

Fuente: Ley General de Aguas Perú.

El Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, publicado el 31 de julio de 2008, aprueba los estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos.

Los mismos son obligatorios en el diseño de las normas legales, siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Cuadro 2.5: Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM).

Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático			
Parámetro	Unidad	Ecosistema Marino Costero	
		Estuarios	Marinos
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	10
Temperatura	°C	---	Δ 3
pH	Unidad	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Sólidos Suspendidos Totales (como se interpreta esta escala ≤ 25-100, ≤ 25-400)	mg/L	25-100	30
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	---
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 4

Fuente: Ley General de Aguas, Perú.

PANAMÁ:

El Reglamento Técnico de Aguatiene como objetivo en el marco de la protección ambiental, prevenir la contaminación de cuerpos y masas de agua superficiales y subterráneas en la República de Panamá, mediante el control de los efluentes líquidos provenientes de actividades domésticas, comerciales e industriales que se descargan a cuerpos receptores manteniendo una condición de aguas libres de contaminación, preservando de esta manera la salud de la población.

Este Reglamento Técnico establece los límites máximos permisibles que deben cumplir los vertidos de efluentes líquidos provenientes de actividades domésticas, comerciales e industriales, descargando a cuerpos y masas de agua superficiales y subterráneas, en conformidad a las disposiciones legales vigentes en la República de Panamá.

Este Reglamento Técnico permite proteger la salud de la población, el ambiente, y preservar los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, de la contaminación de origen antrópico derivada de las actividades mencionadas.

El campo de aplicación de este Reglamento Técnico comprende los responsables de las descargas de efluentes líquidos provenientes de actividades domésticas, comerciales e industriales, vertiendo directa o indirectamente a cuerpos de agua continentales o marítimos, sean éstos, superficiales o subterráneos, naturales o artificiales, dentro de la República de Panamá.

Cuadro 2.6: Valores máximos permisibles de las descargas de efluentes líquidos a cuerpos receptores.

Parámetros	Unidad	Expresión	Límite Máximo Permitido
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	35
pH	Unidad	pH	5,5 - 9,0
Sólidos Sedimentables	mg/L	S.SED.	15
Sólidos Suspendidos	mg/L	SS	35
Temperatura	°C	---	± 3°C de la Temperatura Normal del Sitio

Fuente: Reglamento Técnico de Agua, Panamá.

Así mismo, establece las características correspondientes a cada tipo de agua, con sus los límites y rangos, tal y como se muestra en el **Cuadro 2.9**.

ECUADOR:

La Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes Aplicada al Recurso Agua, de Ecuador, es una Norma Técnica Ambiental que tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua.

El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

En la Tabla 3 de esta Norma, se presentan los Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario. En el Cuadro 2.7 se muestran dichos criterios, pero únicamente para Aguas Marinas y de Estuario.

Cuadro 2.7: Criterios de Calidad de Aguas para la Preservación de Flora y Fauna en aguas Marinas y de Estuario: Límites Máximos Permisibles.

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite Máximo Permisible (Agua Marina y de Estuario)
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidad	6.5 – 9.5
Temperatura	°C	---	Condiciones naturales + 3 Máxima 32

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes Aplicada al Recurso Agua, Ecuador.

CHILE:

Chile cuenta con la Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, como elemento que garantiza la protección ambiental y la prevención de la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales de la República Chilena, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores.

La presente norma de emisión establece la concentración máxima de contaminantes permitida para residuos líquidos descargados por las fuentes emisoras, a los cuerpos de agua marinos y continentales superficiales de la República de Chile, tal como se muestra en el **Cuadro 2.8**.

Fuente emisora: Se refiere al establecimiento que descarga residuos líquidos a uno o más cuerpos de agua receptores, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria de valor característico superior en uno o más de los parámetros indicados en la Norma.

Cuadro 2.8: Establecimiento Emisor.

Contaminante	Valor Característico	Carga contaminante media diaria (equiv. 100 Hab/día)
pH	6 - 8	---
Temperatura	20°C	---
Sólidos Suspendidos Totales	220 mg/L	3520 g/d
Sólidos Sedimentables	6 mg/L 1h	---
DBO5	250 mg/L	4000 g/d

Fuente: Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, Chile.

Las fuentes que emitan una carga contaminante media diaria o de valor característico igual o inferior al señalado, no se consideran fuentes emisoras para los efectos de esta norma y no quedan sujetos a la misma, en tanto se mantengan esas circunstancias.

Descargas de residuos líquidos dentro de la zona de protección litoral

Las descargas de residuos líquidos, que se efectúen al interior de la zona de protección litoral, deberán cumplir con los valores contenidos en el **Cuadro 2.9**.

Cuadro 2.9: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral.

Contaminantes	Unidad	Límite Máximo Permisible
DBO ₅	mg/L	60
pH	Unidad	6.0-9.0
Sólidos Sedimentables	mg/L	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	100
Temperatura	°C	30

Fuente: Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, Chile.

2.3. OBJETIVOS A UTILIZAR EN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO

A partir de la legislación extranjera mencionada anteriormente, se elaboró un cuadro resumen (**Cuadro 2.10**) con los Límites Máximos Permisibles más restrictivos de las normativas anteriores, para ser utilizarlos en el Capítulo V, en el Cálculo del Índice de Calidad del Agua de la Bahía de Jiquilisco.

Cuadro 2.10: Resumen de los Límites Máximos Permisibles de parámetros indicadores de contaminación en Agua de Mar, contemplados en la Legislación Extranjera, 2012.

LEGISLACIÓN EXTRANJERA			
PARÁMETRO	PAÍS	LEY / NORMA / DECRETO	OBJETIVO
T _m	CHILE	NORMA DE EMISION PARA LA REGULACION DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LIQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES.	30
pH	PERÚ	LEY GENERAL DE AGUAS PROMULGADA POR DECRETO DE LEY 17752	7.0 – 8.5
SST	PERÚ	DECRETO SUPREMO N° 002-2008-MINAM (ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA)	30
SS	COSTA RICA	DECRETO N° 26042-S-MINAE	1
OD	PERÚ	DECRETO SUPREMO N° 002-2008-MINAM (ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA)	4
DBO ₅	PERÚ	DECRETO SUPREMO N° 002-2008-MINAM (ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA)	10

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

CAPÍTULO III

3. FUENTES CONTAMINANTES Y METODOLOGÍA DE MUESTREO PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO

3.1. CONTAMINACIÓN DEL CUERPO DE AGUA

La contaminación de los cuerpos de agua se define como la acción y el efecto de introducir materias, formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores y con su función ecológica.

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 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, etc.) y una higiene deficiente asociada al déficit del agua. (11)

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 mayores causas del cólera en las regiones costeras de países en vías de desarrollo.

Por lo general, la calidad del agua se mide por medio de indicadores físicos y químicos, entre los que se pueden mencionar pH, Oxígeno Disuelto, Salinidad, Conductividad Eléctrica, Temperatura, DBO₅, etc. Siendo un parámetro de contaminación orgánica la DBO₅ que se relaciona con las posibles descargas incontroladas de aguas residuales domésticas sin tratamiento, las cuales provienen de zonas aledañas o a través de ríos, que drenan sus aguas en el cuerpo de agua en estudio.

Se han realizado algunos estudios de contaminación en las aguas de la Bahía de Jiquilisco los cuales han indicado contaminación bacteriológica, a nivel de Coliformes presentes en el agua, que van de 93 a 290 NMP/100 ml.

En plaguicidas se reportan las concentraciones en ppm, en el agua 3.3×10^{-5} de Endrin (tipo de insecticida organoclorado), en sedimento de 0.21 a 0.32 de Dieldrin

(insecticida organoclorado), en tejidos de camarones 0.41 de Dieldrin y 0.022 de Endrin y en tejidos de curiles 0.035 de Dieldrin 0.011 de Endrin y 0.097 de DDT (insecticida organoclorado sintético de amplio espectro). Según proyecto realizado por el Fondo de la Iniciativa para las Américas El Salvador (FIAES) y Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" (UCA).

Los criterios de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, la máxima concentración de Dieldrin en agua superficial salada a la que puede estar expuesta indefinidamente una comunidad acuática, sin sufrir efectos negativos es de 0.1194 ng/ml. Como se observa aun no se sobrepasa esta concentración en el cuerpo de agua en estudio, por lo que se estima que la calidad de sus aguas esta en un rango aceptable en cuanto a contaminación con plaguicidas.

3.2. FUENTES CONTAMINANTES Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación de las aguas en la Bahía de Jiquilisco puede estar producida por:

- Compuestos minerales: Pueden ser sustancias tóxicas como los metales pesados (plomo, mercurio, etc.), nitratos y nitritos. Otros elementos afectan a las propiedades organolépticas (olor, color y sabor) del agua como el cobre, el hierro, etc. Otros producen el desarrollo de las algas y la eutrofización (disminución de la cantidad de O₂ disuelto en el agua) como el fósforo.
- Compuestos orgánicos: Hidrocarburos, fenoles, detergentes, etc. producen también eutrofización del agua debido a una disminución de la concentración de oxígeno, ya que permite el desarrollo de los seres vivos y éstos aumentan el consumo de O₂.

La contaminación microbiológica se produce principalmente por la presencia de bacterias, virus, protozoos, algas unicelulares, etc. Además la contaminación térmica debido a las variaciones de la temperatura provoca una disminución de la solubilidad del oxígeno en el agua.

Las fuentes contaminantes del agua pueden clasificarse de la siguiente manera:

a) Fuentes Puntuales:

Las fuentes puntuales son descargas de contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías, pequeños ríos y alcantarillas que pueden ser medibles y cuantificables. En la Bahía de Jiquilisco se detectaron varias fuentes puntuales que descargan aguas residuales directamente al cuerpo de agua en estudio.



Figura 3.1: Tubería rota de aguas negras identificada en el Estero Los Mancornados cuyo efluente llega directamente a Puerto El Triunfo, sobre todo en mareas altas.

Fuente: Elaboración propia, 2012.



Figura 3.2: Tubería de aguas residuales domesticas identificada en Puerto Avalos cuyo efluente llega al río que drena en las aguas de la Bahía de Jiquilisco.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

b) Fuentes No Puntuales:

Las fuentes no puntuales son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al cuerpo de agua sobre una región extensa. Como principal fuente no puntual se encuentra el Río Grande de San Miguel, que es uno de los más contaminados del país y es el principal sistema fluvial que drena sus aguas en la Bahía de Jiquilisco.



Figura 3.3: Río Grande de San Miguel.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

3.3. LOGÍSTICA DE MUESTREO PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO

El objetivo de la toma de muestras es recoger una porción de material lo suficientemente pequeña como para ser fácilmente transportada al Laboratorio de Calidad de Aguas del MARN para su posterior estudio. La muestra debe ser homogénea y representativa de las características de la zona de estudio. Esto supone que la concentración de cualquier componente en la muestra será idéntica (o razonablemente idéntica) a la existente en la masa global. Para esto es

necesaria la construcción de una logística de muestreo, junto con expertos en el área, que garantice el éxito de dicha actividad.

El equipo de logística se conformó con tres miembros del MARN, el primero pertenece al Departamento de Hidrología (especialista en monitoreos de cuerpos de agua superficiales), el segundo al Departamento de Vida Silvestre (especialista en ecosistemas marinos) y el tercero al Laboratorio de Calidad de Aguas (jefe del departamento). Se realizaron dos reuniones con el equipo de logística de muestreo para establecer los siguientes puntos:

- Número de muestreos a realizar: Esto se vio afectado principalmente por la vigencia del proyecto PACAP ya que éste finalizó sus operaciones en junio de 2012, por lo que limitó el número de muestreos a realizar.

Para que el monitoreo sea representativo se acordó realizar tres muestreos en la Bahía de Jiquilisco y un muestreo exploratorio para identificar la zona de estudio.

- Número de estaciones a muestrear: Esto depende del criterio de expertos en la zona de estudio quienes toman en cuenta los requisitos que deben cumplir las estaciones de muestreo, así como también de la ayuda que el personal (guardas) del proyecto PACAP pueda proporcionar.

Para que el monitoreo sea representativo se acordó someter a estudio cinco estaciones como mínimo.

- Número de parámetros a evaluar: La selección depende de gran medida del criterio de expertos, de la información existente, de los criterios de localización y tiempo, y su importancia como estándar de calidad. También, de acuerdo al apoyo proporcionado por el MARN, se tomó en cuenta la disponibilidad de reactivos, materiales y equipos a utilizar para la realización de cada análisis.

Por lo tanto, se seleccionaron los siguientes parámetros fisicoquímicos a evaluar: Temperatura de la muestra (T_m), pH, Salinidad (Sal), Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Sólidos Sedimentables (SS) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

- Identificación de fuentes contaminantes: Con la ayuda del especialista en ecosistemas marinos se identificaron los puntos más importantes y representativos de la Bahía de Jiquilisco tomando en cuenta el nivel de contaminación presente y accesibilidad a cada uno de ellos.
- Marea: Se tomaron en cuenta los cambios en la marea, ya que de esto depende la accesibilidad a ciertos puntos de la Bahía de Jiquilisco por vía terrestre y marítima. También se estableció una profundidad estándar de 0.5m para la toma de muestras.
- Cronología de muestreo: Se establecen las fechas de cada muestreo teniendo en cuenta que las muestras recolectadas para la DBO₅ deben analizarse dentro de un período máximo de 24 - 48 horas. También se establece un horario de llegada y partida para cada estación.

3.4. MUESTREO EXPLORATORIO

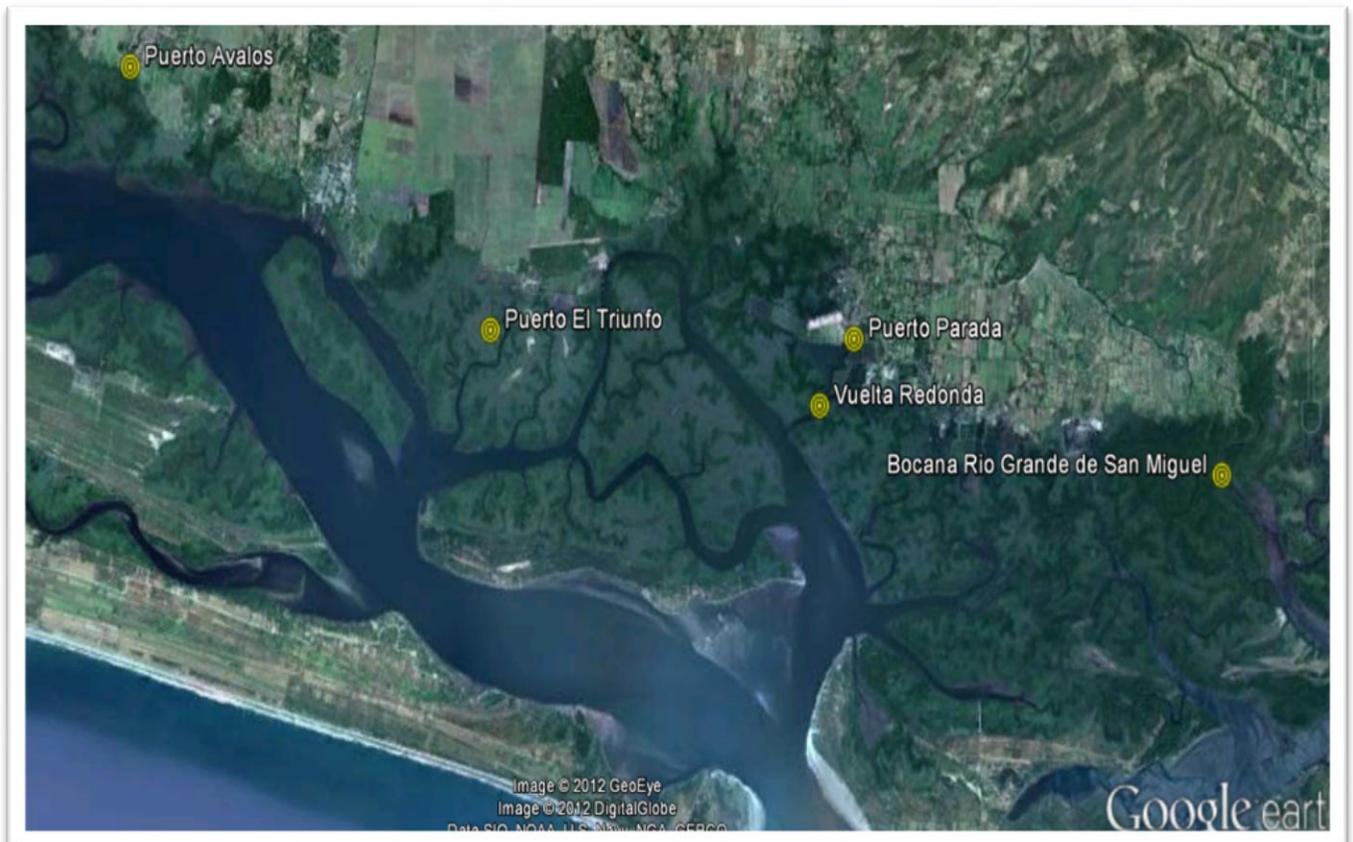
Se realizó un muestreo exploratorio con el apoyo del proyecto PACAP con el objetivo de conocer el área de estudio y establecer las estaciones de muestreo.

Cada estación de muestreo fue observada y evaluada cuidadosamente ya que deben cumplir con algunos requisitos, los cuales se mencionan a continuación:

- Deben poseer una rápida y segura accesibilidad por vía terrestre o marítima.
- Deben ser identificadas y reconocidas claramente, de manera que permita su ubicación exacta en futuros muestreos.
- Deben tener como mínimo una profundidad de 0.5 m.
- Deben de estar libres de espumas superficiales.
- Deben poseer una salinidad comprendida de 0.5 psu a 30 psu.

Luego de evaluar cada estación, se establecieron las coordenadas de cada una de ellas utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS), asignándoles un código propio y posteriormente se prosiguió a la toma de muestra cuyo procedimiento se detallará más adelante.

En la **Figura 3.4** se muestra la ubicación de las cinco estaciones de muestreo dentro del sector de estudio:



 Puntos de muestreo, Bahía de Jiquilisco

Figura 3.4: Ubicación de los puntos de muestreo en la Bahía de Jiquilisco.

Fuente: Imagen Satelital Google Earth, 2012.

En los siguientes cuadros se describen las cinco estaciones de muestreo seleccionadas para el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco:

Cuadro 3.1: Primera estación de muestreo de la Bahía de Jiquilisco del Departamento de Usulután, 2012.

Estación de Muestreo No. 1	
	
Especificaciones de la Estación de Muestreo	
Nombre:	Bocana Río Grande de San Miguel
Código:	RGS
Coordenada:	Latitud: 13°13'46.34"N Longitud: 88°21'43.70"O
Accesibilidad:	Vía Marítima
Ubicación:	Desembocadura del Río Grande de San Miguel está ubicado a 8.67 Km de Puerto Parada, Departamento de Usulután, El Salvador.
Observaciones:	El Río Grande de San Miguel se encuentra a 8.67 Km de Puerto Parada y desemboca dividido en dos canales, convirtiendo las aguas de este punto en salobres en un rango de 3.4-6.8 psu.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Cuadro 3.2: Segunda estación de muestreo de la Bahía de Jiquilisco del Departamento de Usulután, 2012.

Estación de Muestreo No. 2	
	
Especificaciones de la Estación de Muestreo	
Nombre:	Vuelta Redonda
Código:	VR
Coordenadas:	Latitud: 13°14'25.22"N Longitud: 88°26'47.04"O
Accesibilidad:	Vía Marítima
Ubicación:	Ubicado a 1.39 km de Puerto Parada, Departamento de Usulután, El Salvador.
Observaciones:	Es un punto de referencia y control utilizado por el MARN. Presenta un rango de salinidad de 30.1-35.5 psu.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Cuadro 3.3 Tercera estación de muestreo de la Bahía de Jiquilisco del Departamento de Usulután, 2012.

Estación de Muestreo No. 3	
	
Especificaciones de la Estación de Muestreo	
Nombre:	Puerto Parada
Código:	PP
Coordenada:	Latitud: 13°15'1.74"N Longitud: 88°26'21.02"O
Accesibilidad:	Vía Terrestre/Marítima
Ubicación:	A 10 Km al sur de la cabecera departamental y jurisdicción del cantón Las Salinas, Departamento de Usulután, El Salvador.
Observaciones:	Zona comercial y de movimiento turístico. Presenta un rango de salinidad de 30.9-33.8 psu.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Cuadro 3.4: Cuarta estación de muestreo de la Bahía de Jiquilisco del Departamento de Usulután, 2012.

Estación de Muestreo No. 4	
	
Especificaciones de la Estación de Muestreo	
Nombre:	Puerto Ávalos
Código:	PA
Coordenada:	Latitud: 13°17'32.20"N Longitud: 88°35'26.14"O
Accesibilidad:	Vía Terrestre
Ubicación:	A 0.77 km de Puerto Avalos, Departamento de Usulután, El Salvador.
Observaciones:	Alta contaminación debido al vertido de aguas negras procedentes de los habitantes de la región. Presenta un rango de salinidad de 0.7-1.1 psu.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Cuadro 3.5: Quinta estación de muestreo de la Bahía de Jiquilisco del Departamento de Usulután, 2012.

Estación de Muestreo No. 5	
	
Especificaciones de la Estación de Muestreo	
Nombre:	Puerto El Triunfo
Código:	PT
Coordenada:	Latitud: 13°16'7.54"N Longitud: 88°33'15.60"O
Accesibilidad:	Vía Terrestre
Ubicación:	Muelle CENDEPESCA a 0.88 Km de Puerto El Triunfo, Departamento de Usulután, El Salvador.
Observaciones:	Se convierte en la estación de la Policía de Turismo y de muchos pescadores de la región. Presenta un rango de salinidad de 31.9-33.0 psu.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

3.5. PROTOCOLO DE MUESTREO PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO

a) **Objetivo**

Establecer los lineamientos generales del muestreo de agua de mar, para garantizar que no se produzcan alteraciones significativas en la composición física, química o biológica que puedan afectar la representatividad de la muestra y su posterior análisis.

b) **Alcance**

Este procedimiento será aplicado dentro del marco de nuevos estudios para controlar la contaminación de las aguas marino-costeras en la Bahía de Jiquilisco, dejando una línea base para su posterior aplicación en otras zonas marino-costeras de El Salvador.

c) **Principio del Método**

Para que los resultados de los procedimientos analíticos sean confiables, se necesitan muestras recolectadas y manipuladas adecuadamente; por lo que la etapa de recolección de muestras es de trascendental importancia.

d) **Equipos**

El siguiente cuadro muestra las especificaciones del equipo utilizado durante todo el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco (**Anexo E**).

Cuadro 3.6: Equipo utilizado durante el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco, 2012.

Equipo	Especificaciones
Botella de Van Dorn.	Fabricado de PVC, capacidad de 2L, doble cierre activado por un mensajero.
Muestreador de manga larga.	Longitud de 3m, capacidad de 50ml.
Medidor multiparámetroHach.	Multiparámetros sension156. Marca HACH.
pH-metro/conductivímetro	pH/Conductivity EC500, Extech instrument, ExStik II.
Sistema de Posicionamiento Global (GPS).	Garmin Etrex Legend HCx Handheld.
Termostato.	Termómetro portátil digital con sonda de temperatura.
Cámara fotográfica.	14.1 megapixeles.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

e) Materiales

El siguiente cuadro muestra las especificaciones de los materiales utilizados durante todo el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco (**Anexo F**).

Cuadro 3.7: Materiales utilizados durante el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco, 2012.

Material	Cantidad	Especificaciones
Frasco	5	Fabricado de plástico, Capacidad 1L para SS.
	5	Fabricado de plástico, Capacidad 250 ml para SST.
	5	Fabricado de plástico, Capacidad 1L para DBO ₅ .
Botella	6	Fabricado de plástico, Capacidad de 1galón para validación de DBO ₅ .
Beaker	7	Fabricado de polipropileno, Capacidad de 250 ml.
Cubeta	1	Fabricado de plástico, Capacidad de 20 L.
Embudo	1	Fabricado de polipropileno.
Hielera	4	Capacidad para 2 arrobas.
Pizeta	1	Fabricado de polipropileno, Capacidad de 500 ml.
Plumón	2	Fabricado con tinta indeleble.
Equipo de protección personal	1	Por muestreador se necesitan: Guantes, botas de hule, filtro solar, gorras.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

f) Reactivos

Durante el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco se utilizaron los siguientes reactivos:

- Reactivos de calibración:
 - Agua destilada.
 - Soluciones Buffer de pH 4, 7, 10.
 - Cloruro de potasio 0.01 M.
- Reactivos para preservación:
 - 2 arrobas de hielo.
 - Sulfato manganoso.
 - Solución de Azida de Sodio (2 g NaN₃/100 ml de agua destilada).

g) Acciones Previas

Antes de proceder a la toma de muestras es importante tomar acciones previas, las cuales aseguren el seguimiento adecuado del procedimiento de muestreo en cada estación para garantizar la representatividad de la muestra en estudio.

A continuación se mencionan las acciones previas que se efectuaron antes de realizar cada muestreo:

- Revisión del itinerario adecuado a la cronología del muestreo.
- Se comprueba el buen funcionamiento de los equipos de muestreo.
- Revisión y elaboración de las listas de equipos y materiales.
- Preparación de estándares de calibración para equipo multiparámetro en campo.
- Preparación del blanco viajero.
- Revisión, verificación y calibración de equipos de medición en campo de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de cada equipo.
- Revisión y preparación de recipientes (lavado y etiquetado).
- Revisión y verificación de equipos de muestreo.
- Preparación de cadena de custodia.
- Etiquetado las muestras con datos como: Nombre de Institución/Laboratorio, Codificación de la muestra, Georeferenciación del punto de muestreo (GPS), Fecha y hora de muestreo, Parámetro a determinar, Tipo de muestra, Identificación del responsable del muestreo.

h) Toma de Muestras

Una muestra simple es aquella muestra individual tomada en un corto período de forma tal que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario.

A continuación se presenta un resumen general del procedimiento seguido para la toma de muestra:

- Toma de coordenadas del punto de muestreo utilizando el GPS.
- Para la toma de muestras de agua salada, se evitan las áreas de turbulencia excesiva, considerando la profundidad, velocidad de la corriente, marea y las condiciones climáticas.
- Toma de datos de temperatura ambiental (T_{amb}) en cada punto de muestreo, condiciones meteorológicas, hora, y ubicación. Todos estos datos son anotados en el formato de cadena de custodia.
- Ubicarse en el punto de muestreo a través del medio adecuado para ello.
- Se verifica la presencia de organismos, vegetales o animales en el cuerpo de agua en estudio.
- Se observa y se reconoce la presencia de algún agente extraño en el agua o sobre ella.
- Se evita la presencia de espumas superficiales.
- Se toma la muestra a una profundidad estándar de 0.5 m.
- Se toma una muestra aleatoria simple de 1 L para cada análisis.
- Se realizan las lecturas de los parámetros in situ en una muestra de 250 ml reportando los valores obtenidos en la cadena de custodia.
- Se enjuagan los frascos con la muestra para su acondicionamiento.
- Se llenan los frascos para la determinación de cada uno de los parámetros considerados según la logística de muestreo y especificaciones del laboratorio previa preservación de las muestras.
- Se toma el número de muestras de acuerdo al número de análisis a realizar en el laboratorio.

- Se considera un espacio de alrededor del 1% aproximadamente de la capacidad del frasco (espacio de cabeza). Para análisis de DBO_5 el frasco deberá llenarse al 100% de su capacidad evitando formaciones de burbujas.
- Etiquetado y codificado de cada una de las muestras.
- Cada muestra es sellada y colocada en una hielera acondicionada a una temperatura entre 1°C y 4°C . Cada hielera se sella adecuadamente.
- Las muestras y la Cadena de Custodia con datos de campo son transportadas y entregadas al laboratorio de Calidad de Aguas en el menor tiempo posible.

3.6. MEDICIÓN DE PARÁMETROS EN CAMPO

A continuación se describen los pasos efectuados para la correcta medición de los parámetros de campo durante el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco:

Potencial de Hidrógeno (pH)

- a) Se verifica la calibración del instrumento en el laboratorio y siempre antes de cada uso en el campo utilizando las soluciones buffers de pH 4, 7 y 10.
- b) Se confirma la compensación de temperatura de estándares y muestras.
- c) Al verificar la calibración del instrumento, la lectura obtenida debe estar dentro de ± 0.1 unidades de pH.
- d) Durante el muestreo se lava con agua desionizada el electrodo.
- e) Luego se recolecta una muestra de agua, se sumerge la sonda hasta cubrir completamente el termistor y se agita para eliminar burbujas en la parte inferior.
- f) Se coloca el interruptor del aparato en la posición de lectura adecuada de pH.

- g) Se espera el tiempo adecuado, entre 2 a 5 minutos, hasta que el electrodo se estabilice (el medidor lo indicará).
- h) Luego se registra este dato en la cadena de custodia.
- i) La sonda es removida de la muestra, se lava con agua desionizada y se tapa el electrodo correctamente en su tapón húmedo.

Salinidad (SAL) y Conductividad Eléctrica (CE):

- a) Se verifica la calibración del instrumento en el laboratorio y siempre antes de cada uso en campo utilizando una solución de Cloruro de potasio 0.01 M.
- b) Se confirma la compensación de temperatura de estándares y muestras.
- c) Al verificar la calibración del instrumento, la lectura obtenida debe estar dentro de $\pm 10\%$ de error relativo.
- d) Durante el muestreo se lava con agua desionizada el electrodo.
- e) Luego se recolecta una muestra de agua, se sumerge la sonda hasta cubrir completamente el termistor y se agita de 5 a 10 segundos para eliminar las burbujas que puedan estar atrapadas en la parte inferior.
- f) Se coloca el interruptor del aparato en la posición de lectura adecuada de salinidad.
- g) Una vez estabilizada la lectura, de 2-5 minutos, se registra la lectura de SAL, CE, TDS y de la temperatura en la cadena de custodia.
- h) Se saca el electrodo de la muestra, se lava con agua desionizada, se introduce en su respectivo tapón y se guarda el electrodo de forma adecuada.

Temperatura de la Muestra (T_m) y Temperatura Ambiente (T_{amb}):

- a) Las lecturas de temperatura o corrección de temperatura de muestra se realizan simultáneamente a las mediciones de los parámetros de pH y SAL, siendo ésta una ventaja al utilizar un medidor multiparámetro.
- b) Para la T_{amb} se utiliza un termostato el cual solo necesita exponerse al aire para realizar la medición.

Oxígeno Disuelto (OD):

- a) Se verifica la calibración del instrumento en el laboratorio y siempre antes de cada uso en el campo. Esto se realiza exponiendo la membrana de la sonda al aire, presionando los botones DO y luego CAL, y luego esperar que el equipo se estabilice (la pantalla muestra “100%”).
- b) Durante el muestreo se lava con agua desionizada el electrodo.
- c) Luego se recolecta una muestra de agua, se sumerge la sonda hasta cubrir completamente el termistor y se agita para eliminar burbujas en la parte inferior.
- d) Se coloca el interruptor del aparato en la posición de lectura adecuada de OD.
- e) Se espera el tiempo adecuado, entre 2 a 5 minutos, hasta que el electrodo se estabilice (el medidor lo indicará).
- f) Y se registra este dato en la cadena de custodia.

*Nota: Ver **anexo G** para un mejor manejo del equipo multiparámetro.*

Método alternativo de OD:

El método alternativo consiste en usar el método Winkler cuando se presentan inconvenientes con el equipo multiparámetro durante la medición en campo del OD. A continuación se describe dicho método:

- a) Primero se acondiciona la botella de DBO_5 con una pequeña cantidad de muestra.
- b) Luego se llena la botella de DBO_5 con un volumen máximo de 300 ml de muestra.
- c) Se fija el oxígeno de la muestra con 1 ml de Sulfato manganoso y 1 ml de solución de Azida de Sodio (2 g NaN_3 /100 ml de agua destilada).
- d) Luego se cierra la botella con el tapón de vidrio dejando un sello de agua, se agita durante 30 segundos y se coloca un segundo tapón de plástico.

- e) Por último se coloca la botella verticalmente dentro de la hielera.

3.7. CONTROL DE CALIDAD DEL MUESTREO EN CAMPO

El procedimiento de muestreo debe de mantener un control de calidad el cual permita detectar errores sistemáticos o casuales que se produzcan desde el momento en que se toma la muestra hasta su respectivo análisis.

Para esto se presentaron blancos de muestreo los cuales se usaron para verificar la calidad de la muestra tomada en aspectos de descontaminación, colecta, procedimientos de manejo y para evaluar que no se haya afectado la calidad de la misma.

En síntesis el control de calidad de las operaciones de muestreo consistió de los siguientes elementos:

- a) Blancos de frasco: Recipiente que antes de realizar el muestreo, es llenado con agua destilada, preservado de igual forma que las muestras de campo y enviado para su análisis como "blanco de frasco". Se detecta así cualquier contaminación del envase. (23)
- b) Blanco de viaje o viajero: Son frascos con agua destilada o desionizada preparados por el laboratorio. Se mantienen en las mismas hieleras que las otras muestras en cada fase del proceso de colecta, manejo y envío. En el laboratorio se analiza, y si se encuentra contaminación, podría ser que la ésta ocurriera durante el transporte de muestras o en el almacenaje en el laboratorio. Se requiere uno por cada tipo de preservación. (23)
- c) Blanco de campo: Son frascos con agua destilada o desionizada que se llenan en la estación de muestreo, etiquetan, empacan, sellan y se transportan al laboratorio con las otras muestras. Se usan los blancos de campo para investigar la contaminación en el laboratorio, durante la colecta y envío de las muestras. El laboratorio requiere de un blanco de campo por cada día de muestreo. (23)
- d) Muestra duplicada: Dos muestras de un mismo punto son tomadas en idénticas condiciones, en distintos frascos. Sirve para determinar la

repetibilidad a través de todo el proceso desde el muestreo hasta la obtención del resultado.(23)

3.8. PRESERVACIÓN, ETIQUETADO Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

En el transcurso del transporte de la muestra, desde el lugar de toma hasta el laboratorio donde se practicarán los análisis, puede ocurrir que las características físico-químicas varíen. Esto debe evitarse en lo posible reduciendo al mínimo el tiempo transcurrido entre toma de muestra y determinación y/o empleando algún medio efectivo de preservación que no altere de forma perceptible su calidad. De cualquier forma, la variación de características en aguas con alto contenido en materias orgánicas o materiales biológicos vivos, siempre será muy superior a aquéllas que tienen poca presencia biológica.

El siguiente cuadro presenta los requisitos necesarios tomados en cuenta para que la muestra fuera representativa del sector de estudio y así poder obtener resultados satisfactorios en el momento de su respectivo análisis.

Cuadro 3.8: Preservación y Almacenamiento de Muestras.

Parámetro	Envase	Preservación	Volumen min. de muestra (ml)	Tiempo máximo de preservación
pH	P o V	-	50	Inmediato
Tm	P o V	-	25	Inmediato
SAL	P o V	-	50	Inmediato
CE	P o V	Refrigerada 4°C	50	28 días
SD	P o V	Refrigerada 4°C	1000	2-7 días
SS	P o V	Refrigerada 4°C	1000	2-7 días
SST	P o V	Refrigerada 4°C	1000	2-7 días
OD	P o V	Azida de Sodio más Sulfato Manganoso	300	Inmediato
DBO ₅	P o V	Refrigerada 4°C	1000	24-48 hrs.

P: Plástico, V: Vidrio.

Fuente: Serie Autodidáctica en Materia de Normas Técnicas Relacionadas con la Inspección y Verificación. CNA, 2004.

En cuanto a la etiqueta de los frascos, las muestras poseen la siguiente información:

- Proyecto o servicio dentro de la institución o agencia.
- Identificación de la muestra / ubicación.
- Fecha y hora.
- Parámetros de calidad.
- Tipo de preservante.
- Análisis solicitado.
- Identificación del responsable del muestreo.

En el **Anexo H** se presenta una propuesta del formato para la etiqueta de frascos en muestras de agua salada.

3.9. CADENA DE CUSTODIA EN CAMPO

Debido a que una muestra es evidencia física, se usa la cadena de custodia de las muestras en campo para asegurar la trazabilidad en el acarreo y posesión de todas las muestras, desde la recepción de los envases hasta la entrega de las muestras al laboratorio de Calidad de Agua del MARN.

Los requisitos del formato de la cadena de custodia varían entre agencias e instituciones, sin embargo estos procedimientos son semejantes. En la cadena de custodia para toma de muestras en visita de inspección y/o verificación se anota toda la información referente a las muestras, como la siguiente:

- Fecha y Hora
- Código de la estación.
- Número de muestreo.
- Tipo de frasco utilizado.
- Volumen de muestra tomada.
- Forma de preservación.
- Parámetros de campo.
- Análisis requeridos.
- Requerimiento de transporte.
- Nombre de quien toma la muestra y participantes en el muestreo.
- Observaciones.

En el **Anexo I** se presenta el formato de cadena de custodia utilizado durante el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco.

3.10. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO

A continuación se describe paso a paso el procedimiento realizado en cada uno de los muestreos durante el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco:

- Como acciones previas, el material utilizado se prepara con 2 días de anticipación. Esto incluye: Lavado y secado de hieleras, lavado y secado de frascos, etiquetado de frascos, contabilización de guantes y beakers.



Figura 3.5: Acciones previas: Lavado y secado de hieleras. Etiquetado de frascos.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

- La calibración del equipo multiparámetro y la preparación de otros equipos de muestreo como la botella de Van Dorn y la manga de muestreo se lleva a cabo un día antes.



Figura 3.6: Revisión, verificación y calibración del equipo de medición multiparámetros.
Fuente: Elaboración propia, 2012.



Figura 3.7: Revisión y verificación de equipos de muestreo, Botella de Van Dorn.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

- Antes de comenzar el viaje hacia el lugar de estudio se lleva a cabo un chequeo de todos los materiales y equipos a utilizar en el muestreo. También se prepara el blanco viajero.
- El muestreo comienza embarcándose en Puerto Parada donde se verifica que se cuente con los materiales y equipos necesarios. Antes de embarcarse se adquiere el preservante (hielo) necesario para todo el muestreo.



Figura 3.8: Muelle de Puerto Parada.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

- La primera estación a muestrear es la desembocadura del Río Grande de San Miguel (RGS); llegar a este punto toma aproximadamente 2 horas por lo que es importante convertirlo en el primer punto de muestreo ya que se dificulta su acceso debido al deceso de la marea.



Figura 3.9: Recorrido hacia la desembocadura del RGS en la Bahía de Jiquilisco.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

- Al llegar al punto establecido se verifican las coordenadas del lugar y la salinidad del agua, así mismo se realiza la medición de la T_{amb} . Luego se procede a la toma de muestra de acuerdo al inciso h de la sección 3.5 de este capítulo.
- Se prepara la botella de Van Dorn; ésta se sumerge a 0.5 m de la superficie y se deja caer el mensajero que cierra la botella para obtener la muestra de agua.



Figura 3.10: Obtención de la muestra utilizando la botella de Van Dorn.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

- Se colocaron 250 ml de muestra en un beaker de polipropileno, acondicionado previamente. En esta muestra se midieron los parámetros de campo (Sal, pH, CE, OD, TDS, T_m , T_{amb}) por medio del equipo multiparametro los cuales fueron anotados en la cadena de custodia. Después de cada medición se lleva a cabo un lavado de la sonda con agua destilada.

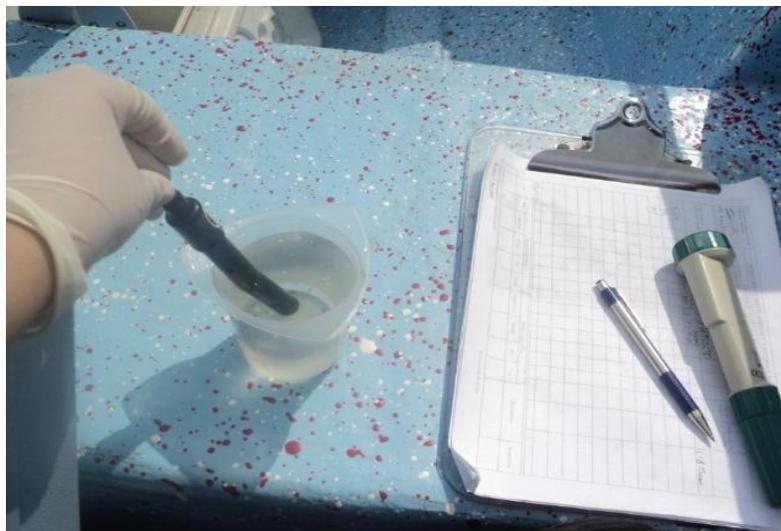


Figura 3.11: Medición de parámetros in situ.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

- Luego se sumerge nuevamente la botella de Van Dorn las veces que sea necesario para llenar los frascos con la muestra, teniendo en cuenta que ésta debe dejarse caer por las paredes a modo de evitar la formación de burbujas.



Figura 3.12: Llenado de frascos.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

- En cada estación se recolectaron 3 muestras (una por cada análisis de laboratorio), exceptuando el punto RGS donde se recolectaron 6 muestras más para el análisis de validación de la DBO_5 .
- Inmediatamente después de cerrar adecuadamente cada frasco, estos fueron colocados en hieleras para preservar la muestra a $4^{\circ}C$ y así ser trasladadas al laboratorio de Calidad de Agua del MARN para su posterior análisis.
- La segunda estación a muestrear es Vuelta Redonda (VR); aquí se llevo a cabo el mismo procedimiento utilizado en el RGS con la diferencia que este punto presentaba espumas superficiales y hojarasca en el primer muestreo, las cuales se evitaron la para recolección de la muestra.



Figura 3.13: Presencia de espumas superficiales y hojarasca en VR.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

- Puerto Parada (PP) es la tercera estación de muestreo, en este punto se pudo observar mucha actividad comercial. La toma de muestra se realizó de la misma forma que en el RGS.



Figura 3.14: Actividad comercial en PP.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

- Luego se hace un traslado a Puerto Avalos (PA) por vía terrestre donde el mayor problema fue la marea baja durante los 3 muestreos, por lo que fue necesario caminar río abajo para buscar un punto que cumpliera las condiciones de salinidad.



Figura 3.15: Marea baja en PA.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

- Al encontrar el punto ideal se procede a la toma de la muestra, que a diferencia de los 3 puntos anteriores, se utiliza un muestreador de manga larga ya que el nivel del agua no es mayor a 1m. En este punto se prepara el blanco de campo.



Figura 3.16: Toma de muestra en PA.
Fuente: Elaboración Propia. 2012

- La última y quinta estación es Puerto El Triunfo (PT) donde las muestras fueron recolectadas en el muelle de CENDEPESCA para mayor facilidad, siguiendo el mismo procedimiento utilizado para el RGS.



Figura 3.17: Medición de parámetros in situ en PT.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

- Al finalizar el muestreo, todos los equipos utilizados son lavados con agua destilada para evitar que se dañen debido a la sal. Luego se realiza nuevamente un chequeo de todos los equipos y materiales que deben ser entregados al final del monitoreo.
- Al llegar al Laboratorio de Calidad de Aguas del MARN se realiza la recepción de muestras y se entrega la cadena de custodia.
- Método Alternativo

Durante el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco se presentaron inconvenientes al realizar la medición del OD con el equipo de medición multiparámetro, debido a que mostró un error de polarización de la sonda de OD al ser intercambiada con la sonda de CE (**Anexo G**), por lo cual fue necesario utilizar el método Winkler como una alternativa al problema logrando una optimización del tiempo empleado y reducción de errores de medición.



Figura 3.18: Método Winkler para la determinación de OD.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

CAPITULO IV

4. VALIDACIÓN ANALÍTICA DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

La validación es el proceso establecido para la obtención de pruebas documentadas y demostrativas de que un método de análisis es lo suficiente fiable y reproducible para generar el resultado previsto dentro de intervalos o parámetros definidos.

La incertidumbre del método implementado deberá ser evaluada y establecida de una forma que sea ampliamente reconocida, consistente y fácil de interpretar. La mayor parte de la información requerida para evaluar la incertidumbre se puede obtener durante la validación del método.

Pasos para la validación

La validación del procedimiento analítico consiste en tres pasos:

1. Establecimiento del protocolo de validación.
2. Realización de la validación.
3. Elaboración del informe.

Establecimiento del protocolo de validación

Debe contener al menos la siguiente información:

- A. Objetivo
- B. Alcance
- C. Responsables
- D. Parámetros a Estudiar
- E. Muestras
- F. Equipos Involucrados en la Validación
- G. Descripción del Método Analítico:

- Reactivos
- Estándares
- Materiales
- Instrumentación
- Condiciones ambientales
- Medidas de seguridad para el uso de reactivos
- Preparación de reactivos

H. Procedimiento para la Determinación de los Parámetros a Evaluar

I. Criterios de Aceptación

Realización de la validación

Una vez elaborado el protocolo se procede a realizar la validación de acuerdo a lo planificado. Aquí se incluye el proceso de cálculo estadístico de los distintos parámetros a evaluar.

Elaboración del informe de validación

El informe de validación contendrá la información suficiente para concluir acerca de la validación que se ha desarrollado. Debe incluir:

- Protocolo de validación
- Resultados analíticos
- Resultados estadísticos
- Interpretación de resultados
- Conclusiones
- Declaración de aptitud del método

4.1 PROTOCOLO DE VALIDACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅) EN AGUA SALOBRE.

1) OBJETIVO

Establecer los parámetros de calidad necesarios para la validación del método y brindar evidencia objetiva de su cumplimiento, en el desarrollo de la cuantificación de la demanda bioquímica de oxígeno en agua salobre por el método de membrana sensible al oxígeno (método electrométrico).

La validación se realiza en el periodo, desde: 02/04/2012 hasta: 31/05/2012.

2) ALCANCE

La validación del método analítico se realiza en la matriz de agua salobre con un rango de concentración de 0 a 20 mg/L de DBO₅, en muestras extraídas de la Bocana del Rio Grande de San Miguel, las cuales tienen un rango de salinidad de 0.5 a 6psu, tomando como promedio 3 psu.

3) RESPONSABILIDADES

Jefe de Laboratorio de Calidad de Aguas del MARN.

Analistas: Estudiantes de la Universidad de El Salvador de la carrera de Ingeniería Química.

4) PARÁMETROS A ESTUDIAR

Debido a que se trata de un método de desarrollo interno se evalúan los siguientes parámetros:

- Linealidad del Método
- Exactitud
- Rango
- Repetibilidad
- Limite de Detección
- Limite de Cuantificación

5) MUESTRAS

Las muestras de agua de mar fueron colectadas y transportadas a una temperatura aproximada de 4°C para su preservación y analizadas en un tiempo máximo de 24-48 horas.

6) EQUIPOS INVOLUCRADOS EN LA VALIDACIÓN

- Multiparámetros sension156. Marca HACH.
- Balanza analítica marca Ohaus modelo Adventurer Pro (calibrada).
- Incubadora para DBO termostáticamente a 20 +/- 1 °C, marca Precision Scientific modelo 818. Eliminar toda la luz para prevenir la posibilidad de producción fotosintética de Oxígeno Disuelto.
- Estufa marca CENCO.
- Hot-plate-agitador marca Thermolyne modelo Cimarec 2.
- Desmineralizador de agua marca Barnstead modelo EasyPure.
- Medidor de pH marca Orion modelo 720 A+.

7) DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO

La determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno es una prueba empírica en la cual procedimientos estandarizados de laboratorio son usados para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas de desecho y afluentes y efluentes de aguas naturales.

La determinación de la DBO₅ por el método de membrana sensible al oxígeno, con o sin dilución, es aplicable para aguas naturales, especialmente de mar, salobre y de ríos con bajo niveles de materia orgánica. En muestras de agua salobre (5 psu) se puede determinar DBO₅ hasta de 6 mg/l, después de saturar la muestra con oxígeno suficiente (la concentración de saturación de oxígeno de una muestra de agua de salobre de 5 psu y 20°C a nivel del mar es de 7.83 mg/l aproximadamente).

a) REACTIVOS

Cloruro de Potasio (KCl).

b) ESTÁNDARES

Solución de Glucosa (C₆H₁₂O₆) -Ácido Glutámico (C₅H₉NO₄).

c) MATERIALES

- Frascos para el análisis de DBO₅ con capacidad de 300ml.
- Balones aforados de 100 ml, 250 ml, 500ml, 1 L y 2 L de capacidad.
- Pipetas volumétricas de 10, 15, 20, 25, y 50 ml de capacidad.
- Agitadores de vidrio.
- Agitadores electromagnéticos.
- Beakers.

- Micropipetas de 1 y 5 ml de capacidad.
- Recipientes de plástico para pesar.
- Espátulas
- Frasco lavador (Pizetas).
- Gradillas metálicas para botellas para análisis de DBO_5 .

d) CONDICIONES AMBIENTALES

Todas las pruebas de la validación se efectuaron bajo condiciones controladas de temperatura a 20°C dentro del laboratorio de calidad de aguas del MARN.

e) MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DE REACTIVOS

Se muestran en el **Anexo K**, hojas MSDS de los reactivos.

f) PREPARACIÓN DE REACTIVOS

Solución de Cloruro de Potasio (KCl)

Se seca KCl en una estufa a 103°C por 1 hora dejando enfriar en un desecador. Se pesa 223.65 mg de KCl, se diluye en agua desmineralizada, con pH 6.5 a 7.5, y se afora en un balón de 1 litro para obtener una solución 3M. Ya que se debe igualar las condiciones de salinidad en el grupo de blancos, entonces se adiciona 5ml de esta solución de KCl a cada frasco para el respectivo análisis de la DBO_5 .

g) PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES

Solución de Glucosa-Ácido Glutámico

Se seca la glucosa y el ácido Glutámico (ambos calidad reactivo) en una estufa a 103°C por 1 hora. Luego se deja enfriar en un desecador. Se pesaron 150 mg de Glucosa y 150 mg de Acido Glutámico para luego diluirlos en agua desmineralizada, con pH 6.5 a 7.5, y se afora en un balón de 1 litro. Para una rápida disolución se utilizó un agitador electromagnético. Cada día de análisis se preparó una solución fresca.

h) PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se ajusta previamente el pH de las muestras en un rango de 6.5 a 7.5, luego se satura con oxígeno utilizando una bomba durante 60 a 90 minutos

elevando su contenido de oxígeno de 6 a 9 mg/L a 20°C. Se deja reposar por 30 minutos.

i) **PROCEDIMIENTO**

Se ajusta el pH del agua de dilución en un rango de 6.5 a 7.5.

Se llenan los frascos de DBO₅ con solución estándar correspondiente a la concentración deseada aforando con muestra tratada, teniendo como volumen total 300ml. Se aplica el llenado mediante las paredes en el frasco para evitar la formación de burbujas de aire. Luego se lee el Oxígeno Disuelto Inicial con la membrana sensible al oxígeno del medidor multiparámetros HACH y se incuban las muestras por 5 días. Pasado los 5 días se lee el Oxígeno Disuelto Final y se calcula la DBO₅.

j) **CÁLCULOS**

Para calcular la concentración experimental de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la muestra se hace uso de la siguiente fórmula:

$$DBO_5 = \frac{(OD_i - OD_f)}{\frac{f}{V_t}} \quad (4.1)$$

Donde:

OD_i = Oxígeno Disuelto Inicial

OD_f = Oxígeno Disuelto Final

f = Factor de Dilución (Cantidad de patrón adicionada)

V_t = Volumen Total

8) **CALCULO DE LOS PARÁMETROS EN ESTUDIO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA EL MÉTODO.**

Cuadro 4.1: Parámetros de estudio y criterios de aceptación del método.

Parámetro	Evaluación	Criterio de Aceptación
Selectividad / Especificidad	Se comparan los resultados del análisis de muestras con y sin analito en presencia o ausencia de impurezas, productos de degradación, sustancias relacionadas, y dependiendo del	a) La respuesta del método debe ser únicamente debida al analito.

Parámetro	Evaluación	Criterio de Aceptación
	tipo de muestra, tipo de técnica analítica e instrumento de medición utilizado.	
Linealidad del Método	Se preparan 6 niveles de concentración, en preparaciones independientes. Se analiza utilizando el método a validar, y se calcula el R^2 y el intervalo de confianza de la pendiente.	a) R^2 mayor que 0.95 b) Intervalo de confianza de la pendiente no debe incluir el cero.
Exactitud	Los estándares se preparan dentro del rango de trabajo del método, se calcula la DBO_5 por el método a validar. Se preparan fortificaciones de las muestras en estudio (agua desmineralizada y agua de mar) por duplicado en 3 niveles de fortificación, que se encuentren dentro del rango a validar. Se calcula el porcentaje de recobro.	a) El porcentaje de recobro debe estar entre el 80 – 120%
Rango	Se fortificaron alícuotas de un blanco de muestra a varias concentraciones del analito cercanas al límite de detección.	N/A
Repetibilidad	Se deben efectuar como mínimo 7 replicas independientes de muestras en la matriz en estudio (agua de mar). Se calcula el coeficiente de variación.	a) El coeficiente de variación no debe superar el 15%
Limite de Detección	El límite de detección se determina mediante el análisis de muestras con cantidades o concentraciones conocidas de analito y estableciendo el nivel mínimo en el que este puede detectarse fiablemente.	N/A
Limite de Cuantificación	A partir de la curva promedio obtenida en la linealidad del método, se calcula S y X el cual se utiliza en el cálculo del límite de cuantificación.	N/A

N/A: No Aplica

Fuente: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (CONACYT), última versión octubre 2010.

4.2 REALIZACIÓN DE LA VALIDACIÓN

Para el desarrollo de las pruebas analíticas de la validación del método, se elaboró el procedimiento del método de ensayo y el número de ensayos o mediciones a realizar de acuerdo a lo establecido en el protocolo de validación.

Los ensayos o mediciones fueron realizados con el fin de poder efectuar las pruebas para la evaluación de los parámetros de rendimiento descritos anteriormente. Si los resultados de dichas pruebas son satisfactorios, es decir, si cumplen con los criterios de aceptabilidad establecidos en el protocolo se considera que el método es aceptable.

4.2.1 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

A continuación se describen los pasos seguidos para el desarrollo del método analítico de la DBO_5 :

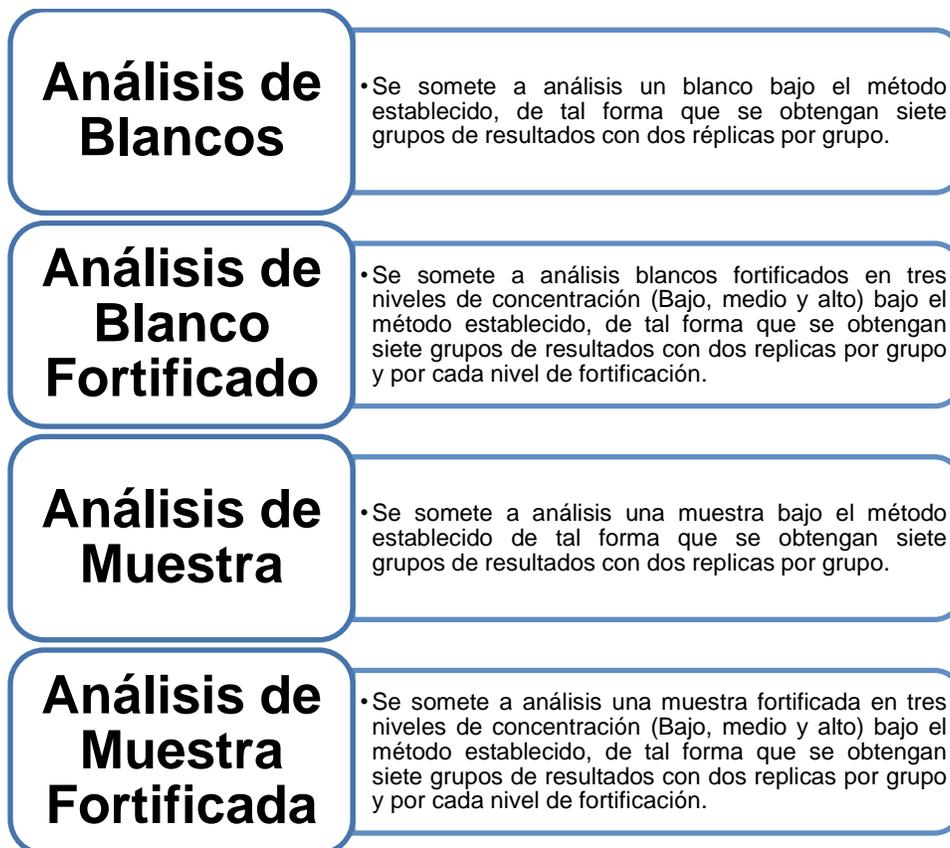


Figura 4.1: Metodología Analítico de la DBO_5 .

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

4.2.2. RESULTADOS

Identificación del Comportamiento Lineal del Método

Con el fin de determinar el rango lineal del método se realizan pruebas mediante un gráfico de concentración versus respuesta, que se conoce como Función Respuesta (normalmente llamada Curva de Calibración). En este sentido se comparan diferentes concentraciones y se analiza el comportamiento del grafico.

Cuadro 4.2: Pruebas para la Determinación de la Curva de Calibración.

Concentración Teórica (mg/L)	OD _i (mg/L)	OD _r (mg/L)	Diferencia (mg/L)	Factor de Dilución	Concentración Experimental (mg/L)
0	6.39	5.36	1.03	--	1.03
10	5.42	4.78	0.64	0.0323	19.840
20	5.45	4.58	0.87	0.0324	26.874
30	5.28	4.52	0.76	0.0326	23.347
40	5.21	4.44	0.77	0.0325	23.678
50	5.25	4.57	0.68	0.0322	21.128
75	5.39	4.49	0.9	0.0160	56.088
100	5.57	4.32	1.25	0.0161	77.775
125	5.60	4.36	1.24	0.0161	77.178

Fuente: Elaboración propia, 2012.

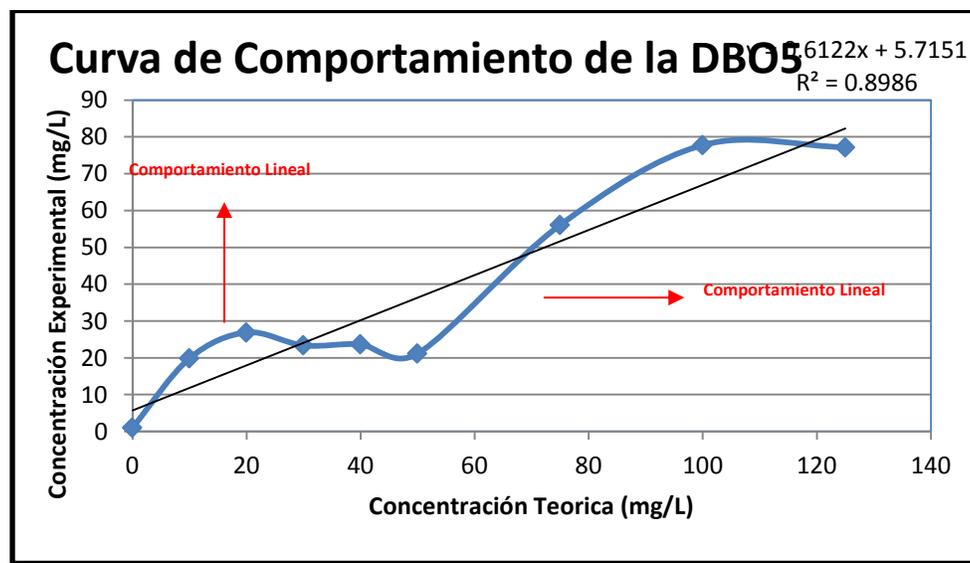


Figura 4.2: Curva de Comportamiento de la DBO5 a Diferentes Concentraciones.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

El comportamiento de la curva de calibración anterior puede expresarse con la siguiente ecuación:

$$Y = 0.612x + 5.715 \quad (4.2)$$

$$R^2 = 0.898$$

Debido a la naturaleza química de las muestras tratadas, el comportamiento de la curva obtenida presenta una mayor complejidad al momento de expresarla como una ecuación, y así poder linealizarla, por lo cual es necesario seccionar la curva de calibración para que sea posible trabajar con la zona lineal y de esta forma poder obtener resultados satisfactorios.

Como se observa en la gráfica anterior el comportamiento lineal se encuentra en diferentes rangos de concentración, pero las concentraciones de DBO₅ en las muestras extraídas de la Bocana del Rio Grande de San Miguel dentro de la Bahía de Jiquilisco varían entre 1 a 10 mg/L, razón por la cual se analiza las concentraciones bajas, de 0 a 20 mg/L, para la construcción de la curva de calibración del método.

Evolución de los Resultados

Se requirieron muchas pruebas para alcanzar una curva de calibración aceptable para la validación de la DBO₅, en las cuales fue necesario variar algunos factores como temperatura, concentración, factor de dilución que influyen en su comportamiento. El siguiente cuadro muestra los avances obtenidos:

Cuadro 4.3: Evolución de las Curvas de Calibración para la Validación de la DBO₅.

Concentraciones Teóricas (mg/L)	Ecuación de Regresión	Gráfica
0 2.5 5 10 50 100 150 200	$Y = -0.014x + 2.897$ $R^2 = 0.294$	

Concentraciones Teóricas (mg/L)	Ecuación de Regresión	Gráfica
<p>5 10 25 50 100 200</p>	<p>$Y = 0.272x + 23.67$</p> <p>$R^2 = 0.426$</p>	
<p>0 5 10 15 50 100 125 200</p>	<p>$Y = 0.319x + 5.813$</p> <p>$R^2 = 0.789$</p>	
<p>0 10 30 40 50 75 100 125</p>	<p>$Y = 0.615x + 5.419$</p> <p>$R^2 = 0.898$</p>	

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

La cantidad de solución patrón utilizada para la construcción de las curvas de calibración mostradas anteriormente, se dedujo a partir de la concentración de 200ppm de DBO_5 que generaría una solución patrón de Glucosa – Ácido Glutámico en un litro de agua desmineralizada.

Cantidad de Solución Patrón Adicionado para la Construcción de las Curvas de Calibración.

Para conocer la cantidad de solución patrón a adicionar a los frascos para el análisis de la DBO_5 se utiliza la ecuación 4.1 con las siguientes consideraciones:

- Volumen de los frascos = 300ml
- Diferencia mínima entre el oxígeno final y el inicial = 2ppm.
- Concentraciones teóricas de DBO_5 a probar = (0, 2, 4, 8, 12, 16, 20) ppm.

Entonces se tiene que la cantidad de solución patrón a adicionar a las muestras y blancos es:

$$DBO_{5,t} = \frac{(OD_i - OD_f) * Vt}{f}$$

Despejando f de la ecuación anterior se tiene:

$$f = \frac{(OD_i - OD_f) * Vt}{DBO_{5,t}} \quad (4.3)$$

Con esta ecuación se calcula la cantidad de solución patrón a adicionar a los frascos, conociendo de antemano las concentraciones teóricas de la DBO_5 y el rango donde estas concentraciones mantienen un comportamiento lineal.

Ejemplo de Calculo: para la concentración de 4 mg/L de DBO_5 , se tiene que agregar la cantidad de patrón de:

$$f = \frac{(2 ppm)(300ml)}{4 ppm} = 150ml$$

Cuadro 4.4: Cálculo de la Cantidad de Solución Patrón a Utilizar

Concentración Teórica (mg/L)	Diferencia mínima de consumo de oxígeno. (mg/L)	Volumen total (ml)	Cantidad de Solución patrón (ml)
0	0.2 – 0.6	300	--
2	2	300	295
4	2	300	150
8	2	300	75
12	2	300	50
16	2	300	37.5
20	2	300	30

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Curvas de Calibración Del Método

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las 7 curvas de calibración para la validación de la DBO₅ y la Curva de Calibración Promedio:

REPETICIÓN 1

Cuadro 4.5: Resultados de la Repetición 1 para el Análisis de DBO₅ en Agua Salobre.

Fecha: 9 de mayo de 2012 Hora: 3:00pm				Volumen Fijo: 300ml		
Concentración Teórica (mg/L)	OD _i (mg/L)	OD _f (mg/L)	Diferencia (mg/L)	Volumen _T (ml)	Patrón adicionado (ml)	Concentración Experimental (mg/L)
0	8.75	7.77	0.98	300	0	0.300
2	7.49	5.63	1.86	300	295	1.892
4	7.92	5.82	2.10	300	150	4.200
8	8.04	5.62	2.42	300	75	9.680
12	8.05	5.64	2.41	300	50	14.460
16	8.11	5.28	2.83	300	37.5	22.640
20	8.19	5.56	2.63	300	30	26.300
Intercepto		Pendiente		R²		Error Típico
-0.7055		1.3615		0.9913		1.0430

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

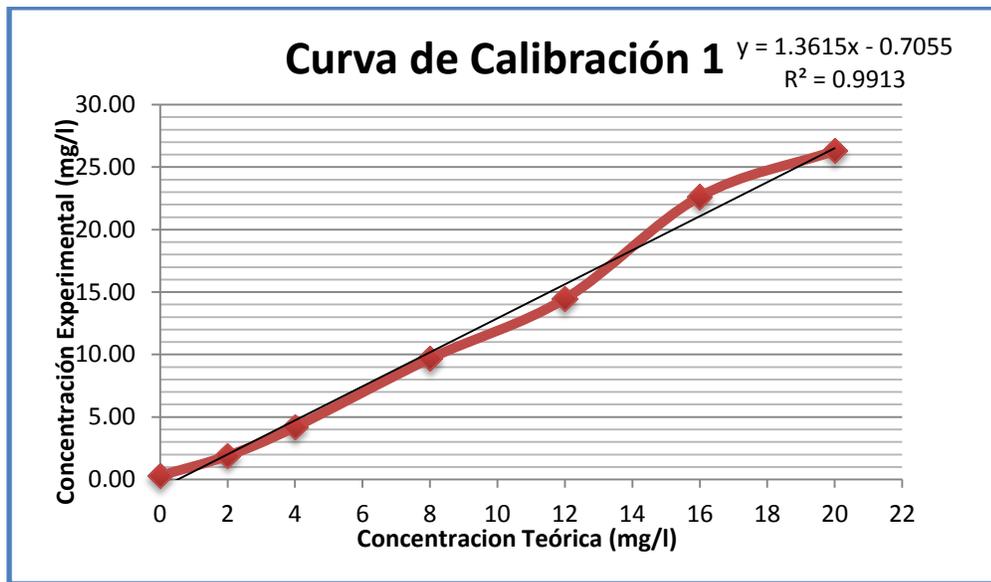


Figura 4.3: Curva de Calibración 1
Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Como se puede observar en la primera repetición, los resultados presentan una tendencia lineal con una pendiente positiva alcanzando satisfactoriamente un R^2 de 0.9913 dentro del rango de concentraciones de 0 a 20mg/L. La grafica muestra 2 puntos de dispersión en las concentraciones más altas, debido a la naturaleza y precisión del método implementado.

REPETICIÓN 2

Cuadro 4.6: Resultados de la Repetición 2 para el Análisis de DBO_5 en Agua Salobre

Fecha: 16 de mayo de 2012 Hora: 9:30am Volumen Fijo: 300ml						
Concentración Teórica (mg/L)	OD _i (mg/L)	OD _f (mg/L)	Diferencia (mg/L)	Volumen _T (ml)	Patrón adicionado (ml)	Concentración Experimental (mg/L)
0	6.33	5.41	0.92	300	0	0.520
2	6.37	4.38	1.99	300	295	2.024
4	5.62	4.6	1.02	300	150	2.040
8	5.91	4.91	1.00	300	75	4.000
12	5.76	4.69	1.07	300	50	6.420
16	6.11	5.15	0.96	300	37.5	7.680
20	6.25	5.35	0.90	300	30	9.000
Intercepto		Pendiente		R²		Error Típico
0.7306		0.4285		0.9868		0.4055

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

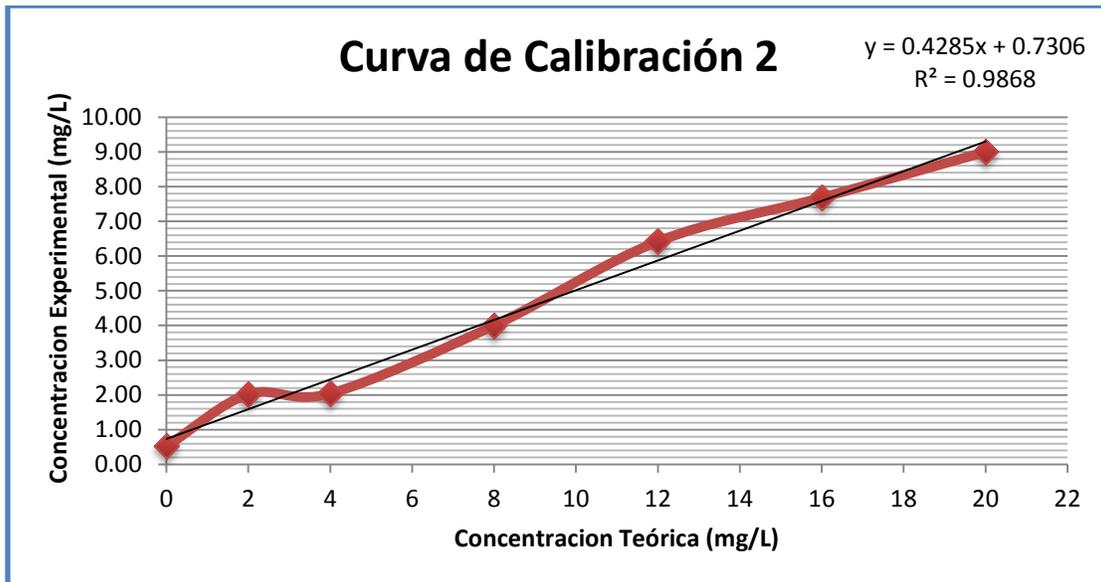


Figura 4.4: Curva de Calibración 2

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

REPETICIÓN 3

Cuadro 4.7: Resultados de la Repetición 3 para el Análisis de DBO₅ en Agua Salobre.

Fecha: 16 de mayo de 2012		Hora: 10:30am		Volumen Fijo: 300ml		
Concentración Teórica (mg/L)	OD _i (mg/L)	OD _f (mg/L)	Diferencia(mg/L)	Volumen _r (ml)	Patrón adicionado (ml)	Concentración Experimental (mg/L)
0	6.67	5.8	0.87	300	0	0.210
2	6.42	4.62	1.80	300	295	1.831
4	5.91	4.04	1.87	300	150	3.740
8	6.44	4.5	1.94	300	75	7.760
12	5.74	3.78	1.96	300	50	11.760
16	5.67	3.57	2.10	300	37.5	16.800
20	6.33	4.54	1.79	300	30	17.900
Intercepto		Pendiente		R²		Error Típico
0.1817		0.9472		0.9875		0.8720

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

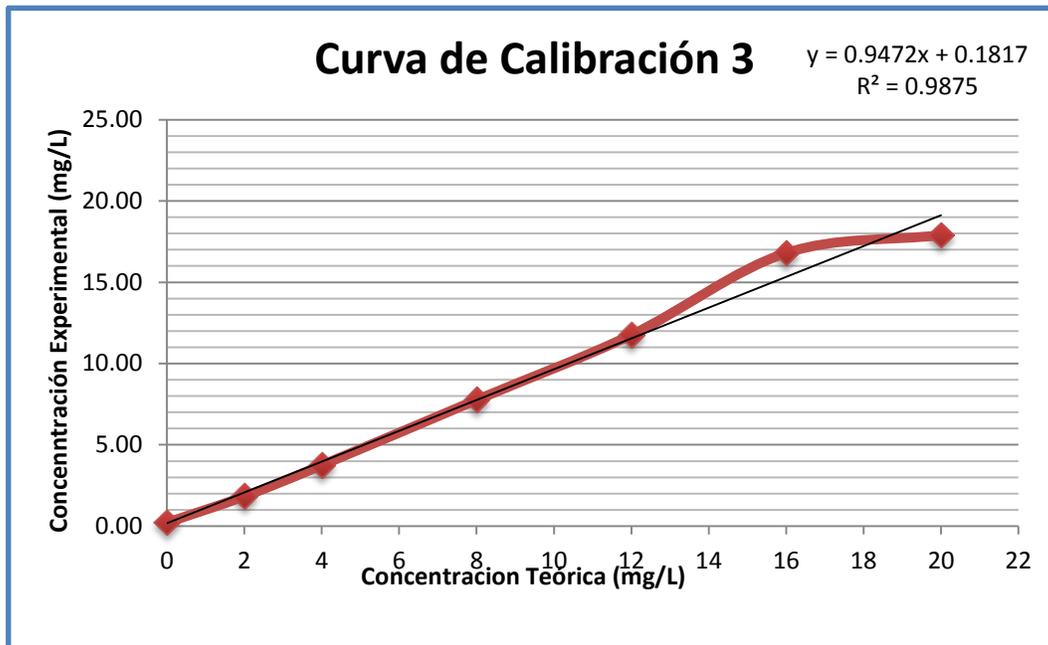


Figura 4.5: Curva de Calibración 3

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

REPETICIÓN 4

Cuadro 4.8: Resultados de la Repetición 4 para el Análisis de DBO₅ en Agua Salobre.

Fecha: 16 de mayo de 2012		Hora: 2:30pm		Volumen Fijo: 300ml		
Concentración Teórica (mg/L)	OD _i (mg/L)	OD _f (mg/L)	Diferencia (mg/L)	Volumen _T (ml)	Patrón adicionado (ml)	Concentración Experimental (mg/L)
0	5.86	5.73	0.13	300	0	0.130
2	6.59	5	1.59	300	295	1.617
4	5.87	3.81	2.06	300	150	4.120
8	5.95	4.08	1.87	300	75	7.480
12	6.01	3.95	2.06	300	50	12.360
16	6.55	4.75	1.80	300	37.5	14.400
20	6.3	4.55	1.75	300	30	17.500
Intercepto		Pendiente		R²		Error Típico
0.3462		0.8901		0.9904		0.7188

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

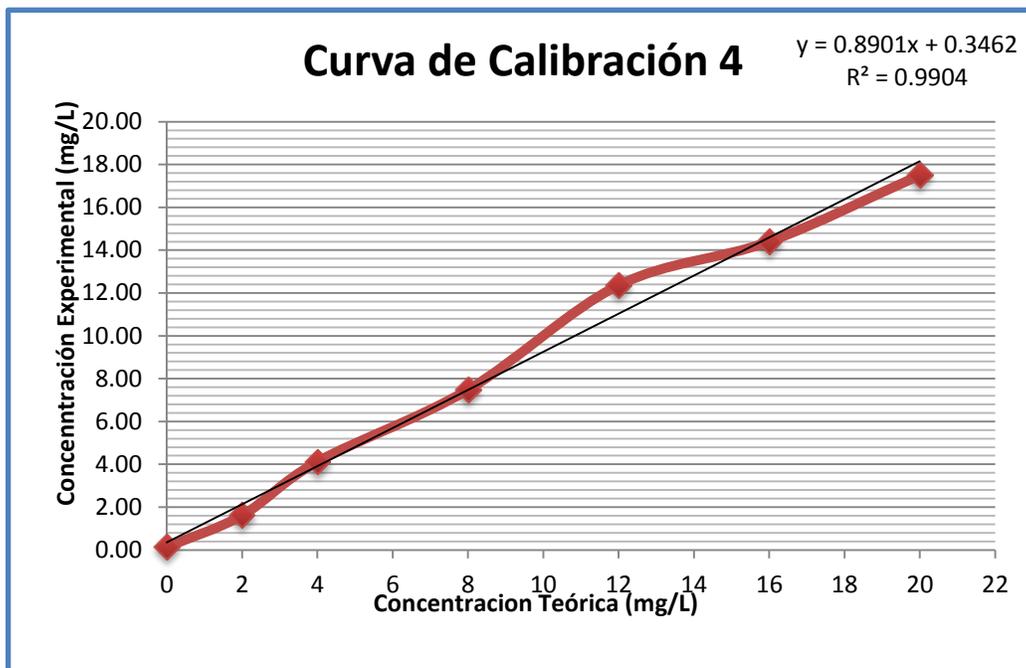


Figura 4.6: Curva de Calibración 4

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

REPETICIÓN 5

Cuadro 4.9: Resultados de la Repetición 5 para el Análisis de DBO₅ en Agua Salobre.

Fecha: 16 de mayo de 2012 Hora: 3:30pm Volumen Fijo: 300ml						
Concentración Teórica (mg/L)	OD _i (mg/L)	OD _f (mg/L)	Diferencia (mg/L)	Volumen _T (ml)	Patrón adicionado (ml)	Concentración Experimental (mg/L)
0	6.34	5.48	0.86	300	0	0.410
2	6.48	4.68	1.80	300	295	1.831
4	5.72	3.9	1.82	300	150	3.640
8	5.66	3.68	1.98	300	75	7.920
12	5.67	3.55	2.12	300	50	12.720
16	5.88	3.75	2.13	300	37.5	17.040
20	6.4	4.67	1.73	300	30	17.300
Intercepto		Pendiente		R ²		Error Típico
0.3939		0.9371		0.9744		1.2421

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

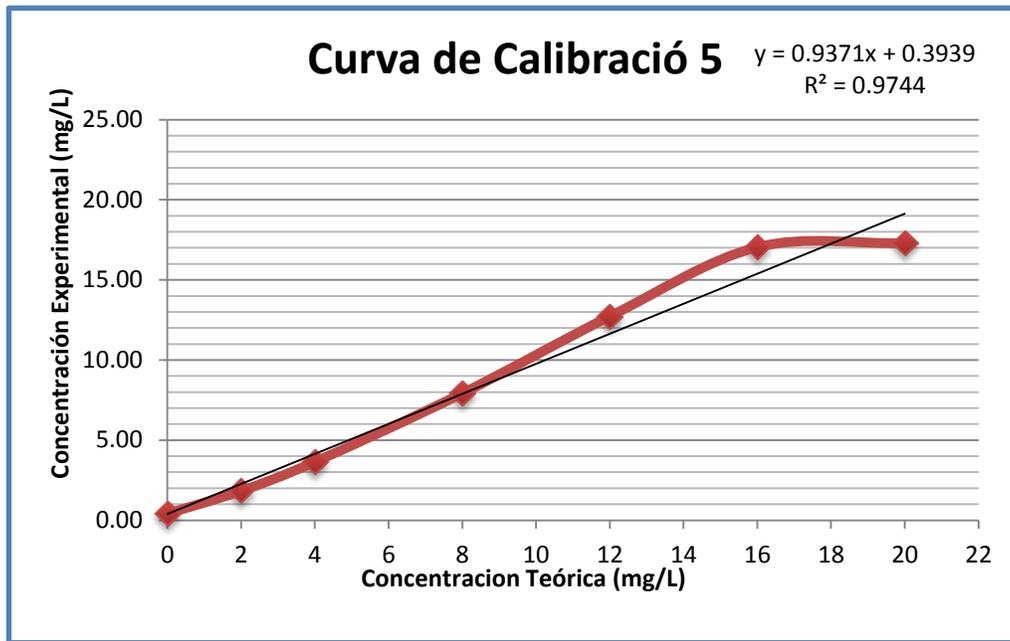


Figura 4.7: Curva de Calibración 5

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

REPETICIÓN 6

Cuadro 4.10: Resultados de la Repetición 6 para el Análisis de DBO₅ en Agua Salobre.

Fecha: 30 de mayo de 2012 Hora: 3:30pm Volumen Fijo: 300ml						
Concentración Teórica (mg/L)	OD _i (mg/L)	OD _f (mg/L)	Diferencia (mg/L)	Volumen _T (ml)	Patrón adicionado (ml)	Concentración Experimental (mg/L)
0	5.32	5.08	0.24	300	0	0.240
2	4.63	3.34	1.29	300	295	1.312
4	5.22	3.35	1.87	300	150	3.740
8	5.67	3.78	1.89	300	75	7.560
12	5.78	3.83	1.95	300	50	11.700
16	5.7	3.48	2.22	300	37.5	17.760
20	5.72	3.53	2.19	300	30	21.900
Intercepto	Pendiente		R ²		Error Típico	
-0.6636	1.1106		0.9933		1.5535	

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

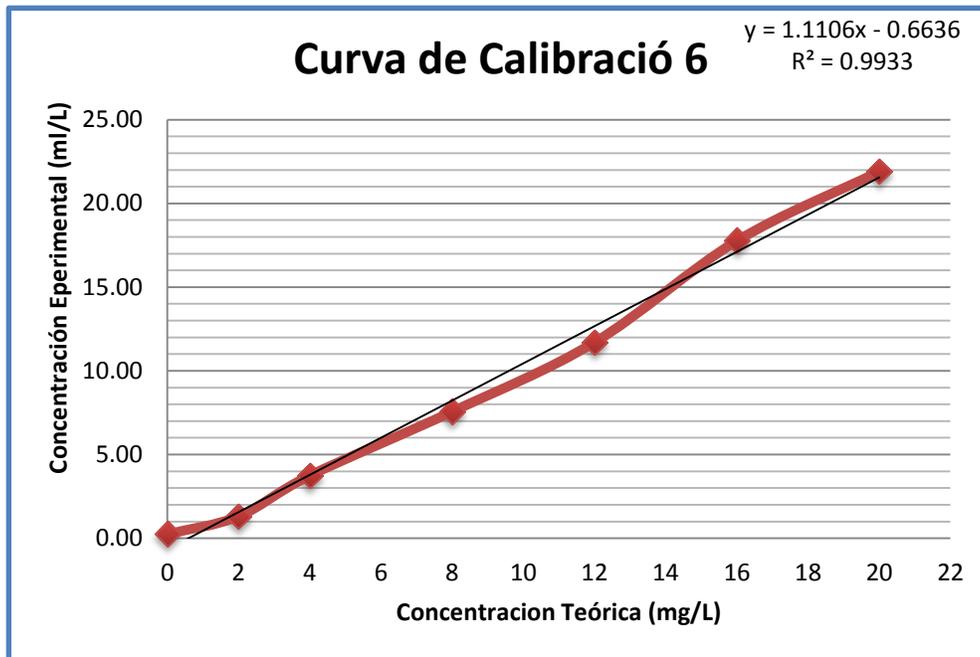


Figura 4.8: Curva de Calibración 6

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

REPETICIÓN 7

Cuadro 4.11: Resultados de la Repetición 7 para el Análisis de DBO₅ en Agua Salobre.

Fecha: 30 de mayo de 2012 Hora: 4:30pm Volumen Fijo: 300ml						
Concentración Teórica (mg/L)	OD _i (mg/L)	OD _f (mg/L)	Diferencia (mg/L)	Volumen _T (ml)	Patrón adicionado (ml)	Concentración Experimental (mg/L)
0	7.49	4.81	2.68	300		0.250
2	7.25	4.36	2.89	300	295	2.939
4	6.75	4.44	2.31	300	150	4.620
8	6.55	4.49	2.06	300	75	8.240
12	6.67	4.38	2.29	300	50	13.740
16	6.55	4.69	1.86	300	37.5	14.880
20	6.59	4.46	2.13	300	30	21.300
Intercepto		Pendiente		R²		Error Típico
0.3880		0.9140		0.9883		0.8808

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

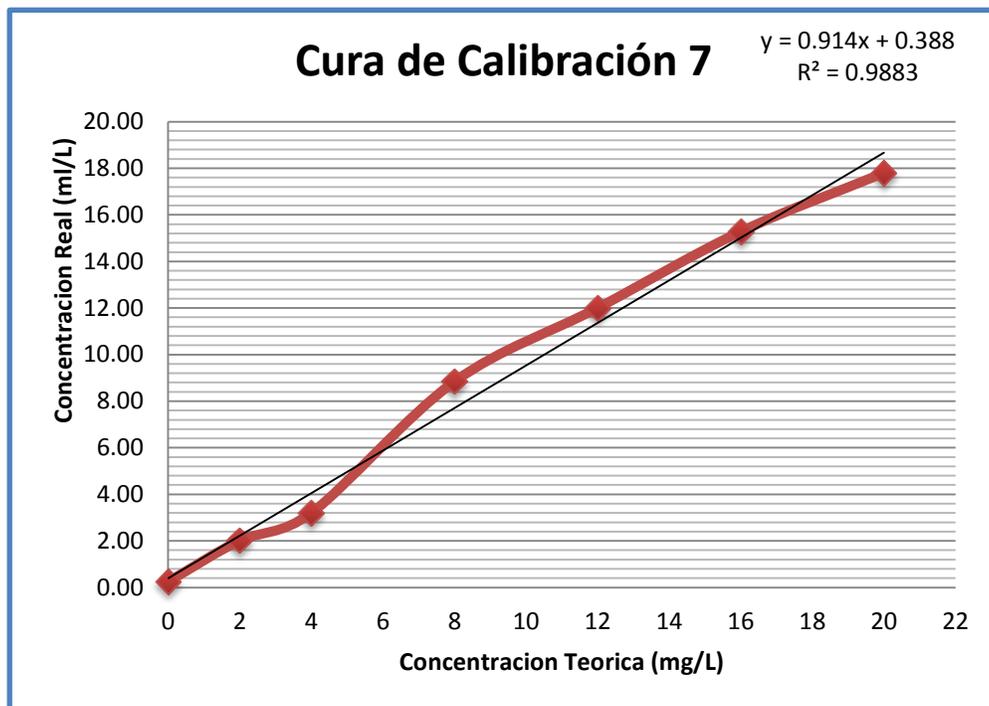


Figura 4.9: Curva de Calibración 7

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Promedio de las Curvas de Calibración

Cuadro 4.12: Promedio de los Resultados de la Curva de Calibración para el Análisis de DBO₅.

Concentración Teórica(mg/L)	Promedio Concentración Real(mg/L)	Desviación Estándar
0	0.29	0.1313
2	1.79	0.2506
4	3.53	0.7333
8	7.61	1.7780
12	11.63	2.4844
16	15.94	4.4942
20	18.24	5.2516
Intercepto	0.0959	-
Pendiente	0.9413	-
R²	0.9956	-
Error Típico	0.9594	-

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

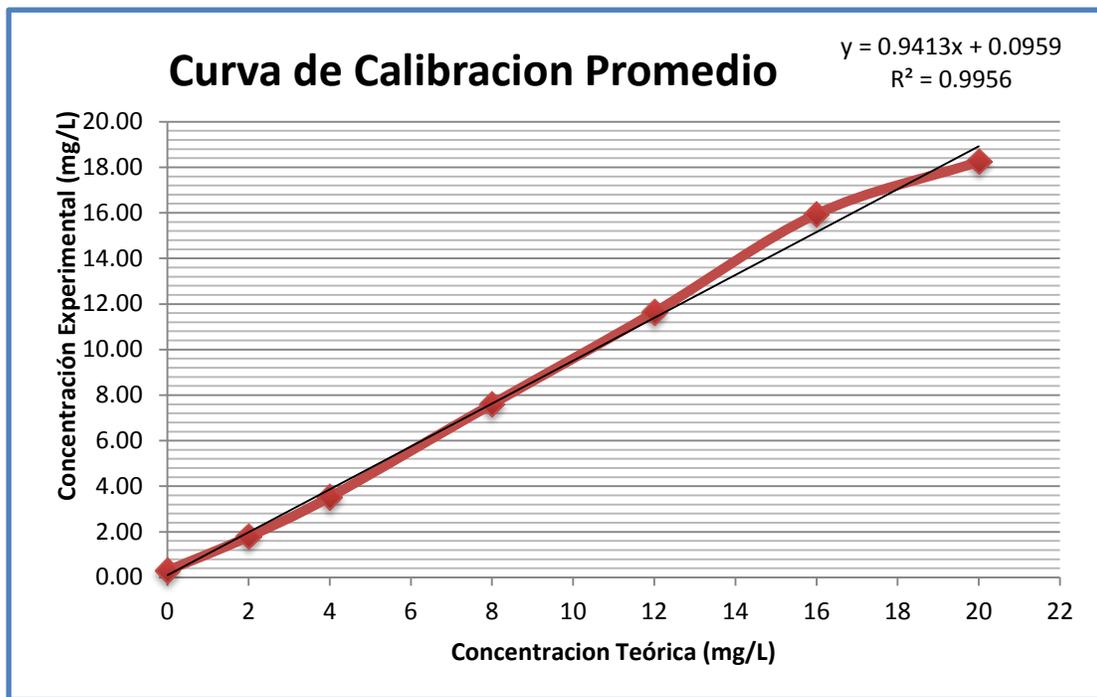


Figura 4.10: Curva de Calibración Promedio Obtenida para el Análisis de DBO₅.

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

4.2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para los fines de la validación analítica, se utilizaron ciertas mediciones estadísticas, que ayudan a establecer si el método se encuentra dentro de parámetros aceptables.

El análisis estadístico consistió básicamente en los siguientes puntos:

- Determinación de los niveles de fortificación para blancos y muestras.
- Cálculo de las concentraciones reales de la DBO₅ a partir de la ecuación de regresión promedio.
- Análisis de blancos fortificados para el nivel bajo, nivel medio y nivel alto por medio de la estimación de los parámetros estadísticos.

4.2.3.1. NIVELES DE FORTIFICACIÓN PARA BLANCOS Y MUESTRAS

Los niveles de fortificación se calculan a partir de las concentraciones teóricas de la DBO₅ tomando como referencia la curva de calibración promedio del método, en este sentido se tiene que los niveles de fortificación se encuentran en el rango de 0 a 20 mg/L de DBO₅ para asegurar su detección.

De acuerdo a lo anterior se toman las siguientes concentraciones para los niveles de fortificación de los blancos y muestras:

- Nivel Bajo (NB) = 2.5 mg/L de DBO₅
- Nivel Medio (NM) = 5 mg/L de DBO₅
- Nivel Alto (NA) = 10 mg/L de DBO₅

Estas concentraciones representan la parte más lineal de la curva de calibración promedio, ya que a concentraciones mayores la linealidad del método tiende a perderse debido a la naturaleza del método.

De la gráfica promedio se obtiene la ecuación de regresión, la cual se utiliza para calcular las concentraciones reales de los niveles de fortificación antes establecidos. La ecuación de regresión del método se presenta a continuación:

$$y = 0.9413 x + 0.0959$$
$$R^2 = 0.9956 \quad (4.4)$$

Una vez conocida la concentración experimental y la ecuación de regresión del método, se procede a calcular la concentración real de la DBO₅ en las 7 repeticiones de datos con los 3 niveles de fortificación requeridos; generando así, por duplicado, un grupo de blancos y blancos fortificados, y un grupo de muestras y muestras fortificadas. Los resultados se muestran a continuación:

Cuadro 4.13: Concentración real de la DBO₅ obtenida en las repeticiones 1 y 2 por medio de la ecuación de regresión del método.

MUESTRA	REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2	
	Concentración Experimental (mg/L)	Concentración Real (mg/L) $X=(Y-b)/m$	Concentración Experimental (mg/L)	Concentración Real (mg/L) $X=(Y-b)/m$
Blanco	0.18	0.09	0.81	0.76
Blanco	0.18	0.09	0.89	0.84
Blanco Fort NB	2.04	2.06	2.16	2.20
Blanco Fort NB	2.31	2.35	2.30	2.34
Blanco Fort NM	5.43	5.66	4.28	4.44
Blanco Fort NM	4.58	4.76	4.55	4.73
Blanco Fort NA	8.65	9.09	7.60	7.97
Blanco Fort NA	9.35	9.83	10.10	10.63
Muestra	0.63	0.57	0.32	0.24
Muestra	0.65	0.59	0.33	0.25
Muestra Fort NB	1.60	1.60	1.31	1.29
Muestra Fort NB	1.58	1.57	1.69	1.69
Muestra Fort NM	4.05	4.20	7.63	8.00
Muestra Fort NM	3.53	3.64	8.55	8.98
Muestra Fort NA	8.70	9.14	14.30	15.09
Muestra Fort NA	8.60	9.03	14.40	15.20

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 4.14: Concentración real de la DBO₅ obtenida en las repeticiones 3 y 4 por medio de la ecuación de regresión del método.

MUESTRA	REPETICIÓN 3		REPETICIÓN 4	
	Concentración Experimental (mg/L)	Concentración Real (mg/L) $X=(Y-b)/m$	Concentración Experimental (mg/L)	Concentración Real (mg/L) $X=(Y-b)/m$
Blanco	0.23	0.14	0.37	0.29
Blanco	0.19	0.10	0.39	0.31
Blanco Fort NB	2.58	2.63	2.29	2.33
Blanco Fort NB	2.68	2.74	2.58	2.63
Blanco Fort NM	5.15	5.37	5.93	6.19
Blanco Fort NM	4.35	4.52	4.55	4.73
Blanco Fort NA	10.70	11.27	10.25	10.79
Blanco Fort NA	8.05	8.45	8.70	9.14
Muestra	5.13	5.35	3.21	3.31
Muestra	4.55	4.73	2.44	2.49
Muestra Fort NB	6.40	6.70	5.45	5.69

MUESTRA	REPETICIÓN 3		REPETICIÓN 4	
	Concentración Experimental (mg/L)	Concentración Real (mg/L) $X=(Y-b)/m$	Concentración Experimental (mg/L)	Concentración Real (mg/L) $X=(Y-b)/m$
Muestra Fort NB	6.64	6.95	4.81	5.01
Muestra Fort NM	10.53	11.08	9.93	10.44
Muestra Fort NM	10.43	10.97	8.85	9.30
Muestra Fort NA	25.55	27.04	23.70	25.08
Muestra Fort NA	25.50	26.99	22.10	23.38

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 4.15: Concentración Real de la DBO5 Obtenida en las Repeticiones 5 y 6 por Medio de la Ecuación de Regresión del Método.

MUESTRA	REPETICIÓN 5		REPETICIÓN 6	
	Concentración Experimental (mg/L)	Concentración Real (mg/L) $X=(Y-b)/m$	Concentración Experimental (mg/L)	Concentración Real (mg/L) $X=(Y-b)/m$
Blanco	0.41	0.33	0.36	0.28
Blanco	0.40	0.32	0.21	0.12
Blanco Fort NB	2.59	2.65	2.79	2.86
Blanco Fort NB	2.28	2.32	2.53	2.58
Blanco Fort NM	4.28	4.44	4.80	5.00
Blanco Fort NM	4.93	5.13	5.38	5.61
Blanco Fort NA	11.60	12.22	10.00	10.52
Blanco Fort NA	8.70	9.14	11.55	12.17
Muestra	1.27	1.25	2.70	2.77
Muestra	0.30	0.22	2.26	2.30
Muestra Fort NB	0.75	0.69	4.56	4.75
Muestra Fort NB	1.65	1.65	3.84	3.97
Muestra Fort NM	5.68	5.93	6.23	6.51
Muestra Fort NM	4.90	5.10	7.68	8.05
Muestra Fort NA	5.35	5.58	15.90	16.79
Muestra Fort NA	5.05	5.26	16.30	17.21

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 4.16: Concentración Real de la DBO5 Obtenida en la Repetición 7 por Medio de la Ecuación de Regresión del Método.

MUESTRA	REPETICIÓN 7	
	Concentración Experimental (mg/L)	Concentración Real (mg/L) $X=(Y-b)/m$
Blanco	0.41	0.33
Blanco	0.37	0.29
Blanco Fort NB	2.70	2.77
Blanco Fort NB	1.95	1.97

MUESTRA	REPETICIÓN 7	
	Concentración Experimental (mg/L)	Concentración Real (mg/L) $X=(Y-b)/m$
Blanco Fort NM	5.43	5.66
Blanco Fort NM	4.48	4.65
Blanco Fort NA	10.05	10.57
Blanco Fort NA	9.85	10.36
Muestra	4.50	4.68
Muestra	5.08	5.29
Muestra Fort NB	8.90	9.35
Muestra Fort NB	7.06	7.40
Muestra Fort NM	11.98	12.62
Muestra Fort NM	12.50	13.18
Muestra Fort NA	25.20	26.67
Muestra Fort NA	25.50	26.99

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

4.2.3.2 ANÁLISIS DE BLANCOS FORTIFICADOS NIVEL BAJO

El análisis de blancos fortificados correspondientes al nivel bajo, necesita cumplir ciertos requisitos de calidad particulares para ser utilizado en la metodología de validación.

Para los fines de la validación del método, se evalúan los parámetros de rendimiento conforme a las mediciones estadísticas, que nos ayudan a establecer si el método se encuentra dentro de parámetros aceptables.

Estimación del Límite de Detección y Cuantificación:

Como primer paso se establece un volumen de muestra utilizada correspondiente a 240 ml con un límite de detección requerido de 2.5mg/L. Se analizan los blancos fortificados por duplicado con el método de validación establecido en la sección 4.1, de tal forma que se obtienen siete grupos de resultados que se muestran a continuación:

Cuadro 4.17: Blancos Fortificados Nivel Bajo

Volumen de muestra utilizada: 240ml Límite de Detección Requerido: 2 mg/L							
Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 5	Grupo 7
1	2.063	2.195	2.634	2.328	2.647	2.859	2.767
2	2.355	2.342	2.740	2.634	2.315	2.581	1.970
Promedio	2.209	2.269	2.687	2.481	2.481	2.720	2.368
Varianza	0.043	0.011	0.006	0.047	0.055	0.039	0.317
Desv. Est.	0.207	0.103	0.075	0.216	0.235	0.197	0.563

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Luego de calcular el promedio, la varianza y la desviación estándar entre las replicas de los 7 grupos de blancos fortificados, se obtiene la desviación estándar de la media utilizando la ecuación (1.1) y por consiguiente el límite de detección y cuantificación experimental siguiendo el procedimiento de cálculo que se muestra a continuación:

Se calcula el promedio del promedio:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{2.209 + 2.269 + 2.687 + 2.481 + 2.481 + 2.720 + 2.368}{7} = 2.459 \text{ mg/L}$$

a) Se calcula la varianza promedio:

$$V_p = \frac{\sum VarGi}{n} = \frac{0.043 + 0.011 + 0.006 + 0.047 + 0.055 + 0.039 + 0.317}{7} = 0.074 \text{ mg/L}$$

b) Se calcula la desviación estándar de la media:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{V_p} = \sqrt{0.074} = 0.272 \text{ mg/L}$$

c) Se calcula el límite de detección experimental utilizando la ecuación (1.2)

$$LD = 3 \times S_{\bar{x}} = (3)(0.272) = 0.815 \text{ mg/L}$$

Como el Límite de Detección Experimental es menor al Límite de Detección Requerido (2.5 mg/L), entonces el parámetro de rendimiento **CUMPLE** con lo requerido.

d) Se calcula el límite de cuantificación experimental utilizando la ecuación (1.3)

$$LC = 10 \times S_{\bar{x}} = (10)(0.272) = 2.718 \text{ mg/L}$$

Estimación de la Recuperación y Sesgo:

Para estimar la recuperación primero debe determinarse el Rango Esperado para la DBO₅ y así obtener los límites inferior y superior; para esto se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$\text{Limite Inferior} = NB - 2 \times S_{\bar{x}} = 2.5 - (0.272)(2) = 1.956 \text{ mg/L}$$

$$\text{Limite Superior} = NB + 2 \times S_{\bar{x}} = 2.5 + (0.272)(2) = 3.044 \text{ mg/L}$$

Luego debe determinarse el Rango Calculado para la DBO₅ y así obtener los límites inferior y superior; para esto se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$\text{Limite Inferior} = \bar{X} - 2 \times S_{\bar{x}} = 2.46 - (2)(0.272) = 1.916 \text{ mg/L}$$

$$\text{Limite Superior} = \bar{X} + 2 \times S_{\bar{x}} = 2.46 + (2)(0.272) = 3.004 \text{ mg/L}$$

Como el rango calculado es menor que el rango esperado, se concluye que el método **CUMPLE** con lo requerido.

Ahora recurriendo a la ecuación (1.4), se dividen las concentraciones de los 7 grupos de blancos fortificados entre la concentración del nivel bajo (2.5 mg/L). Del resultado obtenido se calcula el promedio y la varianza como se muestra a continuación:

Cuadro 4.18: Recuperaciones calculas en tanto por uno para el Nivel Bajo.

Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7
1	0.825	0.878	1.053	0.931	1.059	1.144	1.107
2	0.942	0.937	1.096	1.053	0.926	1.032	0.788
Promedio	0.884	0.907	1.075	0.992	0.992	1.088	0.947
Varianza	0.007	0.002	0.001	0.007	0.009	0.006	0.051

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Con estos valores se calcula nuevamente el promedio del promedio, el promedio de la varianza y la desviación estándar de la media de igual forma que en la estimación del límite de detección y cuantificación. Los resultados son los siguientes:

$$\bar{X} = 0.984 \text{ mg/L} \qquad V_p = 0.012 \text{ mg/L} \qquad S_{\bar{x}} = 0.109 \text{ mg/L}$$

Donde el promedio del promedio se traduce en términos de recuperación, por lo tanto se tiene que:

$$\% \text{Recuperación} = 0.984 \text{ mg/L} \times 100 = 98.40\%$$

Para estimar el porcentaje del sesgo se establece un máximo permitido por lo que para los fines de esta metodología de validación se acepta un 16%; de acuerdo a esto se utiliza la ecuación (1.5) de la siguiente forma:

$$\% \text{Sesgo} = |1 - 0.984| \times 100 = 1.63 \%$$

Como el máximo sesgo permitido del método es del 16% y el calculado en el nivel de fortificación bajo es 1.63%, entonces el método **CUMPLE** con el parámetro de rendimiento establecido.

Estimación de la Precisión:

La estimación de la precisión se expresa como el CV para lo cual es necesario establecer un CV máximo permitido para la finalidad de este análisis; según Horwitz se utiliza un 15% máximo. El CV se obtiene con la ecuación (1.6), donde la varianza promedio y la desviación estándar de la media son las mismas que se calcularon en la estimación del límite de detección y cuantificación.

$$CV = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{X}} = \frac{0.272}{2.459} \times 100 = 11.06\%$$

Como el CV permitido en el método es de 15%, el cual es mayor al calculado en el nivel de fortificación medio (11.06%), entonces el método **CUMPLE** con el parámetro de rendimiento establecido.

Análisis de Varianzas

El análisis de varianza o ANOVA es otra forma de evaluar la precisión de los resultados comparando más de dos medias entre sí. El procedimiento utilizado se detalla a continuación:

a) Se calcula la Suma de los Cuadrados entre Grupos, donde la cantidad de grupos es $a = 7$ y el tamaño del grupo es $b = 2$.

- Se calculan los G_i para cada grupo; para ejemplo de cálculo se usa el grupo 1:

$$G_{ij} = 2.063 + 2.355 = 4.418$$

- Se suman todos los G_i de los 7 grupos; estos datos se muestran en la siguiente cuadro:

Cuadro 4.19: Suma de los Cuadrados entre Grupos, Nivel Bajo.

Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Σ
1	2.063	2.195	2.634	2.328	2.647	2.859	2.767	-
2	2.355	2.342	2.740	2.634	2.315	2.581	1.970	-
Suma G_i	4.418	4.537	5.374	4.962	4.962	5.440	4.736	34.429
(Suma G_i)²	19.515	20.585	28.877	24.622	24.622	29.595	22.432	170.246

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Donde

$$\sum X_{ij} = 34.429 \qquad (\sum X_{ij})^2 = 1,185.334$$

- Ahora se sustituye en la ecuación (1.10), para obtener la Suma de los Cuadrados entre Grupos de la siguiente forma:

$$SCe = \frac{\sum (SumGi)^2}{b} - \frac{(\sum X_{ij})^2}{ab}$$

$$SCe = \frac{170.246}{2} - \frac{1,185.334}{(7)(2)}$$

$$SCe = 0.456$$

b) Se calcula la Suma de los Cuadrados o Varianza Total, donde la cantidad de grupos es $a = 7$ y el tamaño del grupo es $b = 2$.

- Se calculan los X_{ij}^2 para cada replica de todos los grupos; para ejemplo de cálculo se usa la réplica 1 del grupo 1 y los datos obtenidos se muestran en el cuadro 4.19 :

$$X_{ij}^2 = (2.063)^2 = 4.255$$

Cuadro 4.20: Suma de los Cuadrados o Varianza Total, Nivel Bajo.

Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Σ
1	2.063	2.195	2.634	2.328	2.647	2.859	2.767	-
2	2.355	2.342	2.740	2.634	2.315	2.581	1.970	-
X^2_{1j}	4.255	4.820	6.937	5.421	7.007	8.177	7.654	85.640
X^2_{2j}	5.545	5.483	7.507	6.937	5.359	6.660	3.880	

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

- Del cuadro anterior se obtiene la suma de los 14 datos:

$$\sum X_{ij}^2 = 85.640$$

- Luego se sustituye en la ecuación (1.13), para calcular la Varianza Total:

$$SC_{total} = \sum X_{ij}^2 - \frac{(\sum X_{ij})^2}{ab}$$

$$SC_{total} = 85.640 - \frac{1,185.334}{(7)(2)}$$

$$SC_{total} = 0.973$$

- c) Teniendo los valores de SC_e y SC_{total} se procede a calcular la Suma de Cuadrados Residuales o dentro del grupo, es decir, dentro de los métodos con la ecuación (1.14):

$$SC_d = SC_{total} - SC_e = 0.973 - 0.456$$

$$SC_d = 0.517$$

- d) Se calculan los Grados de Libertad Totales sustituyendo en las ecuaciones (1.11) y (1.12):

$$GL_e = a - 1 = 7 - 1 = 6$$

$$GL_d = a(b - 1) = 7(2 - 1) = 7$$

- e) Se calcula el Cuadrado Medio o Varianza entre Grupos sustituyendo en la ecuación (1.8):

$$CM_e = \frac{SC_e}{GL_e} = \frac{0.456}{6} = 0.076$$

- f) Se calcula el Cuadrado Medio o Varianza dentro de Grupos sustituyendo en la ecuación (1.9):

$$CM_d = \frac{SC_d}{GL_d} = \frac{0.517}{7} = 0.074$$

- g) Ahora que se ha determinado la varianza entre grupos y la varianza dentro de grupos, se puede obtener el factor F experimental utilizando la ecuación (1.7), de la siguiente forma:

$$F = \frac{CMe}{CMd} = \frac{0.076}{0.073} = 1.030$$

Con un nivel de significancia de la prueba de $\alpha = 0.050$, se busca en tablas el F crítico y ubicando $GLe=7$ en las filas y $GLd=6$ en las columnas de la siguiente forma:

F crítico	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20
1	161.44622	199.49948	215.70668	224.58335	230.16037	233.98752	236.76694	238.88424	240.54316	241.88193
2	18.51276	19.00003	19.16419	19.24673	19.29629	19.32949	19.35314	19.37087	19.38474	19.39588
3	10.12796	9.55208	9.27662	9.11717	9.01343	8.94067	8.88673	8.84523	8.81232	8.78549
4	7.70865	6.94428	6.59139	6.38823	6.25607	6.16313	6.09421	6.04103	5.99880	5.96435
5	6.60788	5.78615	5.40945	5.19216	5.05034	4.95029	4.87586	4.81833	4.77246	4.73506
6	5.98737	5.14325	4.75706	4.53369	4.38737	4.28386	4.20667	4.14681	4.09901	4.05996
7	5.59146	4.73742	4.34683	4.12031	3.97152	3.86598	3.78705	3.72572	3.67667	3.63653
8	5.31764	4.45897	4.06618	3.83785	3.68750	3.58058	3.50046	3.43810	3.38812	3.34717
9	5.11736	4.25649	3.86254	3.63309	3.48166	3.37376	3.29274	3.22959	3.17890	3.13727
10	4.96459	4.10282	3.70827	3.47805	3.32584	3.21718	3.13547	3.07166	3.02038	2.97824

Figura 4.11: Tabla F crítico.

Fuente: Guía de Validación de Métodos Analíticos, Chile 2011.

Por lo tanto el F crítico o tabulado a $\alpha = 0.050$ es de **3.9715**

Conclusión:

El F experimental es menor que el F tabulado, es decir que no hay diferencia significativa entre los grupos, por lo tanto, el método **SI CUMPLE** lo requerido.

4.2.3.3 ANÁLISIS DE BLANCOS FORTIFICADOS NIVEL MEDIO

El análisis de blancos fortificados correspondientes al nivel medio necesita cumplir ciertos requisitos de calidad particulares para ser utilizado en la metodología de validación.

Para los fines de la validación del método, se evalúan los parámetros de rendimiento conforme a las mediciones estadísticas, que nos ayudan a establecer si el método se encuentra dentro de parámetros aceptables.

De igual forma que en el nivel bajo, estos parámetros se detallan a continuación utilizando el mismo procedimiento:

Estimación del Límite de Detección y Cuantificación:

Como primer paso se establece un volumen de muestra utilizada correspondiente a 120 ml con un límite de detección requerido de 5.0mg/L. Se analizan los blancos fortificados por duplicado con el método de validación establecido en la sección 4.1, de tal forma que se obtienen siete grupos de resultados que se muestran a continuación:

Cuadro 4.21: Blancos Fortificados, Nivel Medio

Volumen de muestra utilizada: 120ml Límite de Detección Requerido: 5 mg/L							
Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 5	Grupo 7
1	5.661	4.440	5.369	6.193	4.440	4.998	5.661
2	4.758	4.732	4.519	4.732	5.130	5.608	4.652
Promedio	5.210	4.586	4.944	5.462	4.785	5.303	5.157
Varianza	0.408	0.043	0.361	1.067	0.238	0.187	0.509
Desv. Est.	0.639	0.207	0.601	1.033	0.488	0.432	0.714

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Luego de calcular el promedio, la varianza y la desviación estándar entre las replicas de los 7 grupos de blancos fortificados, se obtiene la desviación estándar de la media, el límite de detección y limite de cuantificación experimental. Los resultados se presentan a continuación:

Cuadro 4.22: Estimación del límite de detección y cuantificación, Nivel Medio.

X	Vp	Sx	LD	LC
5.064 mg/L	0.402 mg/L	0.634 mg/L	1.902 mg/L	6.339 mg/L

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Como el Límite de Detección Experimental es menor al Límite de Detección Requerido (5.0 mg/L), entonces el parámetro de rendimiento **CUMPLE** con lo requerido.

Estimación de la Recuperación y Sesgo:

Para estimar la recuperación se obtienen los límites inferior y superior del Rango Esperado y el Rango Calculado para la DBO₅ en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.23: Límites del Rango Calculado y Esperado, Nivel Medio.

Rango Esperado		Rango Calculado	
Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior
3.732 mg/L	6.268 mg/L	3.796 mg/L	6.332 mg/L

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Como la mayor parte del rango calculado se encuentra dentro del rango esperado, se concluye que el método **CUMPLE** con lo requerido.

Ahora se dividen las concentraciones de los 7 grupos de blancos fortificados entre la concentración del nivel medio (5.0 mg/L). Del resultado obtenido se calcula el promedio y la varianza como se muestra a continuación:

Cuadro 4.24: Recuperaciones calculas en tanto por uno para el Nivel Medio.

Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7
1	1.132	0.888	1.074	1.239	0.888	1.000	1.132
2	0.952	0.946	0.904	0.946	1.026	1.122	0.930
Promedio	1.042	0.917	0.989	1.092	0.957	1.061	1.031
Varianza	0.016	0.002	0.014	0.043	0.010	0.007	0.020

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Con estos valores se calcula nuevamente el promedio del promedio, el promedio de la varianza y la desviación estándar de la media de igual forma que en la estimación del límite de detección y cuantificación. Los resultados son los siguientes:

$$\bar{\bar{X}} = 1.013 \text{ mg/L}$$

$$V_p = 0.016 \text{ mg/L}$$

$$S_{\bar{x}} = 0.127 \text{ mg/L}$$

Donde el promedio del promedio se traduce en términos de recuperación, por lo tanto se tiene que:

$$\% \text{Recuperación} = 101.30\%$$

Para estimar el porcentaje del sesgo, se establece un máximo permitido por lo que para los fines de esta metodología de validación se acepta un 16%; por lo tanto:

$$\% \text{Sesgo} = |1 - 1.013| \times 100 = 1.26\%$$

Como el máximo sesgo permitido del método es del 16% y el calculado en el nivel de fortificación medio es 1.26%, entonces el método **CUMPLE** con el parámetro de rendimiento establecido.

Estimación de la Precisión:

Manteniendo un Coeficiente de Variación máximo del 15%, y la varianza promedio y la desviación estándar de la media son las mismas que se calcularon en la estimación del límite de detección y cuantificación, se tiene que:

$$CV = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{X}} = \frac{0.634}{5.064} \times 100 = 12.52\%$$

Como el CV permitido en el método es de 15%, el cual es mayor al calculado en el nivel de fortificación medio (12.52%), entonces el método **CUMPLE** con el parámetro de rendimiento establecido

Análisis de Varianzas

Para el análisis de varianza se realizó el mismo procedimiento efectuado que en el nivel bajo donde $a = 7$ y $b = 2$. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

- Para la Suma de Cuadrados entre Grupos:

Cuadro 4.25: Suma de Cuadrados entre Grupos, Nivel Medio.

Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Σ
1	5.661	4.440	5.369	6.193	4.440	4.998	5.661	-
2	4.758	4.732	4.519	4.732	5.130	5.608	4.652	-
Suma G_i	10.420	9.172	9.889	10.925	9.570	10.606	10.314	70.895
(Suma G_i)²	108.576	84.120	97.788	119.347	91.586	112.485	106.373	720.273

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Del cuadro anterior se obtiene:

$$\Sigma X_{ij} = 70.895 \quad (\Sigma X_{ij})^2 = 5,026.051 \quad SCe = 1.133$$

- Para la Suma de los Cuadrados o Varianza Total:

Cuadro 4.26: Suma de Cuadrados o Varianza Total, Nivel Medio.

Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7
1	32.052	19.711	28.830	38.349	19.711	24.975	32.052
2	22.643	22.391	20.425	22.391	26.320	31.454	21.643

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Del cuadro anterior se obtiene:

$$\Sigma X_{ij}^2 = 362.949 \quad SC_{total} = 3.946$$

- Para el factor F experimental y el factor F tabulado:

Cuadro 4.27: Análisis de Varianzas, Nivel Medio.

SCd	GLe	GLd	CMe	CMd	F exp	F tab
2.813	6	7	0.189	0.402	0.470	3.971

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Conclusión:

El F experimental es menor que el F tabulado, es decir que no hay diferencia significativa entre los grupos, por lo tanto, el método **SI CUMPLE** lo requerido.

4.2.3.4 ANÁLISIS DE BLANCOS FORTIFICADOS NIVEL ALTO

El análisis de blancos fortificados correspondientes al nivel alto necesita cumplir ciertos requisitos de calidad particulares para ser utilizado en la metodología de validación.

Para los fines de la validación del método, se evalúan los parámetros de rendimiento conforme a las mediciones estadísticas, que nos ayudan a establecer si el método se encuentra dentro de parámetros aceptables. De igual forma que en el nivel bajo, estos parámetros se detallan a continuación utilizando el mismo procedimiento:

Estimación del Límite de Detección y Cuantificación:

Como primer paso se establece un volumen de muestra utilizada correspondiente a 60 ml con un límite de detección requerido de 10mg/L. Se analizan los blancos fortificados por duplicado con el método de validación establecido en la sección 4.1, de tal forma que se obtienen siete grupos de resultados que se muestran a continuación:

Cuadro 4.28: Blancos Fortificados Nivel Alto.

Volumen de muestra utilizada: 60ml Límite de Detección Requerido: 10 mg/L							
Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 5	Grupo 7
1	9.088	7.972	11.266	10.787	12.222	10.522	10.575
2	9.831	10.628	8.450	9.141	9.141	12.169	10.362
Promedio	9.459	9.300	9.858	9.964	10.681	11.345	10.469
Varianza	0.277	3.527	3.963	1.356	4.746	1.356	0.023
Desv. Est.	0.526	1.878	1.991	1.164	2.179	1.164	0.150

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Luego de calcular el promedio, la varianza y la desviación estándar entre las replicas de los 7 grupos de blancos fortificados, se obtiene la desviación estándar de la media, el límite de detección y limite de cuantificación experimental. Los resultados se presentan a continuación:

Cuadro 4.29: Estimación del Límite de Detección y Cuantificación, Nivel Alto.

X	Vp	Sx	LD	LC
10.154 mg/L	2.178 mg/L	1.476 mg/L	4.427 mg/L	14.758 mg/L

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Como el Límite de Detección Experimental es menor al Límite de Detección Requerido (10 mg/L), entonces el parámetro de rendimiento **CUMPLE** con lo requerido.

Estimación de la Recuperación y Sesgo:

Para estimar la recuperación se obtienen los límites inferior y superior del Rango Esperado y el Rango Calculado para la DBO₅ en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.30: Límites del Rango Calculado y Esperado, Nivel Alto.

Rango Esperado		Rango Calculado	
Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior
7.048 mg/L	12.952 mg/L	7.202 mg/L	13.105 mg/L

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Como la mayor parte del rango calculado se encuentra dentro del rango esperado, se concluye que el método **CUMPLE** con lo requerido.

Ahora se dividen las concentraciones de los 7 grupos de blancos fortificados entre la concentración del nivel alto (10 mg/L). Del resultado obtenido se calcula el promedio y la varianza como se muestra a continuación:

Cuadro 4.31: Recuperaciones Calculas en Tanto por Uno para el Nivel Alto.

Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7
1	0.909	0.797	1.127	1.079	1.222	1.052	1.057
2	0.983	1.063	0.845	0.914	0.914	1.217	1.036
Promedio	0.946	0.930	0.986	0.996	1.068	1.135	1.047
Varianza	0.003	0.035	0.040	0.014	0.047	0.014	2.257E-4

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Con estos nuevos valores se calcula nuevamente el promedio del promedio, el promedio de la varianza y la desviación estándar de la media de igual forma que en la estimación del límite de detección y cuantificación. Los resultados son los siguientes:

$$\bar{X} = 1.015 \text{ mg/L}$$

$$V_p = 0.022 \text{ mg/L}$$

$$S_{\bar{x}} = 0.148 \text{ mg/L}$$

Donde Pp se traduce en términos de recuperación, por lo tanto se tiene que:

$$\% \text{Recuperación} = 101.54\%$$

Para estimar el porcentaje del sesgo se establece un máximo permitido por lo que para los fines de esta metodología de validación se acepta un 16%; por lo tanto:

$$\% \text{Sesgo} = |1 - 1.0154| \times 100 = 1.54 \%$$

Como el máximo sesgo permitido del método es del 16% y el calculado en el nivel de fortificación medio es 1.54%, entonces el método **CUMPLE** con el parámetro de rendimiento establecido.

Estimación de la Precisión:

Manteniendo un Coeficiente de Variación máximo del 15%, y la varianza promedio y la desviación estándar de la media son las mismas que se calcularon en la estimación del límite de detección y cuantificación.

$$CV = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{X}} = \frac{1.476}{10.154} \times 100 = 14.53\%$$

Como el CV permitido en el método es de 15%, el cual es mayor al calculado en el nivel de fortificación alto (14.53%), entonces el método **CUMPLE** con el parámetro de rendimiento establecido.

Análisis de Varianzas

Para el análisis de varianza se realizó el mismo procedimiento efectuado que en el nivel bajo donde $a = 7$ y $b = 2$. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

- Para la Suma de Cuadrados entre Grupos:

Cuadro 4.32: Suma de Cuadrados entre Grupos, Nivel Alto.

Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Σ
1	9.088	7.972	11.266	10.787	12.222	10.522	10.575	-
2	9.831	10.628	8.450	9.141	9.141	12.169	10.362	-
Suma G_i	18.919	18.600	19.716	19.928	21.362	22.690	20.937	142.153
(Suma G_i)²	357.927	345.969	388.710	397.133	456.352	514.853	438.377	2899.320

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Del cuadro anterior se obtiene:

$$\Sigma X_{ij} = 142.153 \quad (\Sigma X_{ij})^2 = 20,207.571 \quad SCe = 6.262$$

- Para la Suma de los Cuadrados o Varianza Total:

Cuadro 4.33: Suma de Cuadrados o Varianza Total, Nivel Alto.

Réplica	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7
1	82.585	63.555	126.912	116.369	149.369	110.709	111.830
2	96.655	112.956	71.406	83.554	83.554	148.073	107.381

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Del cuadro anterior se obtiene:

$$\Sigma X_{ij}^2 = 1,464.907 \quad SC_{total} = 21.509$$

- Para el factor F experimental y el factor F tabulado:

Cuadro 4.34: Análisis de Varianzas, Nivel Alto.

SCd	GLe	GLd	CMe	CMd	F exp	F tab
15.246	6	7	1.044	2.178	0.479	3.971

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Conclusión:

El F experimental es menor que el F tabulado, es decir que no hay diferencia significativa entre los grupos, por lo tanto, el método **SI CUMPLE** lo requerido.

4.3. INFORME DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE DBO₅ EN MATRIZ DE AGUA SALOBRE

Método: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUA SALOBRE.

Fecha: Desde: 02/04/2012 Hasta: 31/05/2012

Objetivo: Establecer los parámetros de rendimiento necesarios para la validación del método y brindar evidencia objetiva de su cumplimiento, en el desarrollo de la cuantificación de la demanda bioquímica de oxígeno en agua salobre por el método de membrana sensible al oxígeno.

Alcance: La validación del método se efectuará en la matriz de agua salobre, en el rango de salinidad de 0.5 a 6 psu. Tomando como promedio 3 psu.

Equipo: El equipo utilizado durante la validación de la DBO₅ fueron el Multiparámetros HACH, Balanza analítica Ohaus, Incubadora para DBO Precision Scientific, Estufa CENCO, Hot-plate-agitador Thermolyne, Desmineralizador de agua Barnstead y el medidor de pH Orion.

Reactivos: Las sustancias involucradas en el análisis químico fueron el Cloruro de Potasio (KCl) como reactivo y una solución de Glucosa (C₆H₁₂O₆) - Ácido Glutámico (C₅H₉NO₄) como estándar.

Análisis Químico: El análisis químico consistió en someter a prueba blancos, blancos fortificados, muestras y muestras fortificadas, bajo condiciones de trabajo controladas, de tal forma que se obtuvieron por duplicado siete grupos de resultados los cuales fueron utilizados para estimar los estadísticos de prueba.

Resultados Obtenidos

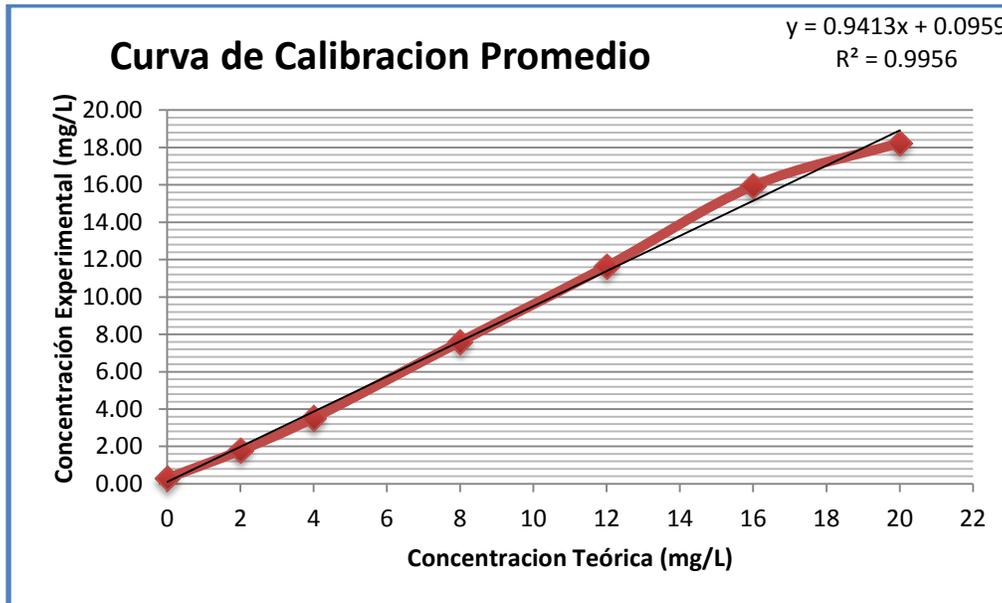


Figura 4.12: Curva de Calibración Promedio en el Proceso de Validación, 2012.

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 4.35: Resultados Obtenidos en las diferentes corridas del método (Expresados como promedios).

Muestras	Corrida 1 (mg/L)	Corrida 2 (mg/L)	Corrida 3 (mg/L)	Corrida 4 (mg/L)	Corrida 5 (mg/L)	Corrida 6 (mg/L)	Corrida 7 (mg/L)
Blanco	0.09	0.80	0.12	0.30	0.33	0.20	0.31
Blanco NB	2.21	2.27	2.69	3.65	2.49	2.72	2.37
Blanco NM	5.21	4.59	4.95	5.46	4.79	5.31	5.16
Blanco NA	9.46	9.30	9.86	9.97	10.68	11.35	10.45
Muestra	0.58	0.25	5.04	2.90	0.74	2.54	4.99
Muestra NB	1.59	1.49	6.83	5.35	1.17	4.36	8.38
Muestra NM	3.92	8.49	11.03	9.87	5.52	7.28	12.90
Muestra NA	9.09	15.15	27.02	24.23	5.42	17.00	26.83

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 4.36: Análisis Estadístico para Blancos Fortificados

Estadísticos de Prueba	Fórmula	Resultados Promedios (mg/L) Nivel Bajo	Resultados Promedios (mg/L) Nivel Medio	Resultados Promedios (mg/L) Nivel Alto
Linealidad del Método	$R^2 > 0.95$	$R^2 = 0.9956$ con un intervalo de confianza de 0.815 - 14.758 mg/L		
Promedio	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$	2.459	5.064	10.154
Varianza promedio	$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}$	0.074	0.402	2.178
Desviación estándar de la media	$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum VarGi}{n}}$	0.272	0.634	1.476
Limite de Detección	$LC = S\bar{X} * 3$	0.815	1.902	4.427
Limite de Cuantificación	$LC = S\bar{X} * 10$	2.718	6.339	14.758
Rango	$R = 10 + /- S\bar{X} * 2$	1.92 – 3.0	4 -- 6	7.20–13.11
Sesgo	%Sesgo = [1 - Recuperación]	1.63 %	1.26%	1.54 %
Precisión (Coeficiente de Variación)	$CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$	11.06 %	12.52 %	14.53 %
Recuperación	$\bar{X}_p = \frac{\bar{X}}{n} * 100$	98.40 %	101.30 %	101.54 %
Exactitud	$80\% \leq \% Re\ cobro \leq 120\%$	86.05%	95.12%	98.46%
Análisis de Varianza				
Varianza entre Grupos	$CMe = \frac{SCe}{GLE}$	0.076	0.189	1.044
Varianza dentro de Grupos	$CMd = \frac{SCd}{GLd}$	0.074	0.402	2.178
F Tabulado	De Tablas, con $\alpha=0.05$	3.9715	3.9715	3.9715
F Experimental	$F = \frac{CMe}{CMd}$	1.030	0.470	0.479
Conclusión	$F_{exp} < F_{tab}$	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Conclusión Final

Los “**F**” experimentales son menores que el **F** tabulado o tablas, por lo tanto “No hay diferencia significativa entre los grupos”, lo que indica que el método “Si Cumple lo Requerido”.

En cuanto a los datos experimentales que corresponden a los criterios de calidad a cumplir, indican que el método puede ser utilizado para los propósitos establecidos.

CAPÍTULO V

5. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA PARA LA BAHÍA DE JIQUILISCO POR MEDIO DEL MÉTODO DE CRITERIOS CANADIENSE ICA CCME

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es una herramienta muy útil para comunicar información sobre la calidad del cuerpo de agua en estudio. El ICA, aparte de proporcionar rápidamente una imagen general del estado del recurso, es útil para propósitos comparativos.

Cualquier ICA, por su diseño, contiene menos información que los datos a partir de los cuales se obtiene y de los que constituye un resumen; por tanto, ningún ICA puede reemplazar el análisis detallado de los datos obtenidos a partir de un plan de monitoreo. Tampoco debe usarse como único criterio para la toma de decisión y el manejo de los recursos hídricos.

Cuando se dice “ningún ICA” se está haciendo referencia a los índices de calidad de agua englobados en las categorías de Índice Multimétrico Rígido e Índice Multimétrico Flexible.

Entre los índices multimétricos flexibles podrían citarse el *Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI)*, que se caracteriza porque su configuración puede ser modificada de acuerdo con los criterios del usuario. En otras palabras, este índice es flexible respecto al tipo y número de parámetros que deben ser determinados.

A la inversa de lo que sucede con los índices multimétricos rígidos, la principal ventaja de este tipo de índices radica en su adaptabilidad a las distintas condiciones de aplicación, mientras que su principal desventaja es que sólo pueden realizarse comparaciones cuando su aplicación se ha realizado con la misma configuración de variables y con los mismos criterios de valoración en cuanto a los objetivos de calidad.

En este tipo de índices, las variables a considerar no vienen predeterminadas en la formulación, sino que su configuración permite que sea el propio usuario el que seleccione las variables a tener en cuenta.

5.1 CONSIDERACIONES PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA SALADA (ICA) POR MEDIO DEL MÉTODO DE CRITERIOS CANADIENSE ICA CCME

La bahía de Jiquilisco por poseer un área muy extensa, como cuerpo de agua en estudio, es necesario garantizar su representatividad por lo cual se han tomado cinco puntos de muestreo de la misma, con el fin de analizar sus aguas para obtener el ICA.

Este ICA permitirá reflejar las condiciones reales en que se encuentran las aguas de dicho lugar de estudio, lo cual dará la pauta a las entidades competentes para evaluar y tomar las acciones pertinentes sobre la situación a la que se enfrenta dicha área protegida.

Los cinco puntos antes mencionados y definidos en el Capítulo III son la Desembocadura del Río Grande de San Miguel (RGS), Vuelta Redonda (VR), Puerto Parada (PP), Puerto Ávalos (PA) y Puerto El Triunfo (PT).

Para calcular el ICA se toman en cuenta los siguientes parámetros en cada uno de los cinco puntos:

- Temperatura de la muestra (T_m).
- Potencial de Hidrogeno (pH).
- Sólidos Suspendedos Totales (SST).
- Sólidos Sedimentables (SS).
- Oxígeno Disuelto (OD).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5).

Legislación Extranjera

Para obtener resultados confiables se utilizaran los cinco grupos de datos recolectados (sitios de muestreo) en las tres campañas de muestreo llevadas a cabo en la Bahía de Jiquilisco y evaluando seis parámetros con respecto a la Legislación Extranjera a emplear. (Ver Cuadro 2.10).

También es importante mencionar que los parámetros fisicoquímicos como SST, SS y OD, DBO_5 , fueron obtenidos mediante análisis realizados en el Laboratorio

de Calidad de Agua del MARN. El **Anexo E.1** muestra las respectivas marchas utilizadas para estos análisis.

5.2 PROCEDIMIENTO APLICADO PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DE MAR (ICA) POR MEDIO DEL MÉTODO DE CRITERIOS CANADIENSE ICA CCME.

Para el cálculo del índice son necesarios tres factores:

- **F1 (Alcance)**, representa el porcentaje de parámetros que no cumplen con lo normado (“parámetros fallidos”), al menos una vez en el período que se analiza, con respecto al número total de parámetros que se escogieron:

$$F1 = \left(\frac{\text{parámetros fallidos}}{\text{total de parámetros}} \right) \times 100 \quad (5.1)$$

- **F2 (Frecuencia)**, representa el porcentaje de ensayos individuales que dieron resultados diferentes a lo normado (ensayos fallidos) del total de ensayos que se realizaron. Con ensayos se refiere a análisis de laboratorio que se realizan para cada parámetro.

$$F2 = \left(\frac{\text{ensayos fallidos}}{\text{total de parámetros}} \right) \times 100 \quad (5.2)$$

- **F3 (Amplitud)**, representa cuán diferente dio el resultado del ensayo con respecto al valor establecido.

Este factor se calcula en tres etapas:

1. El número de veces por el cual cada valor fallido es mayor (o menor, en el caso de que lo normado sea un valor mínimo) que el valor establecido, se denomina “excursión”. En el caso de que el valor calculado no deba exceder lo normado se calcula de la siguiente forma:

$$\text{excursión}_i = \left(\frac{\text{valor fallido}}{\text{valor normado}_i} \right) - 1 \quad (5.3)$$

En el caso de que el valor calculado no deba ser menor que lo normado se calcula de la siguiente forma:

$$excursión_i = \left(\frac{valor\ normado_j}{valor\ fallido_i} \right) - 1 \quad (5.4)$$

2. A continuación se calcula la suma normalizada de las excursiones (*nse*, siglas en inglés), dividiendo la sumatoria de las excursiones entre el total de ensayos realizados (tanto los que dieron valores que no cumplen con lo normado como aquellos que si cumplen):

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n excursión_i}{total\ de\ ensayos} \quad (5.5)$$

3. Finalmente el factor *F3* se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$F3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right) \quad (5.6)$$

Una vez que se tienen los tres factores, el índice puede calcularse, sumándose los tres valores como si fueran vectores. La suma de los cuadrados de cada factor es igual al cuadrado del índice. Esta aproximación trata al índice como un espacio tridimensional donde los factores se colocan a lo largo de cada eje (x, y, z). Con este modelo, el índice cambia de manera directamente proporcional con los cambios que se producen en los valores de los factores.

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right) \quad (5.7)$$

El valor de 1.732 normaliza el resultado a un valor entre 0 y 100, donde 0 representa la “peor” calidad y 100 la “mejor” calidad de agua.

Existen cinco categorías dependiendo del valor obtenido:

- **Excelente:** (95-100) – La condición del recurso es casi igual a la de su estado natural, sin apenas deterioro de su calidad.
- **Buena:** (80-94) – La condición del recurso es cercana a la de su estado natural o a lo deseado, el deterioro de su calidad es menor.
- **Regular:** (65-79) – La condición del recurso a veces difiere de su estado natural o lo deseado, la calidad del agua esta ocasionalmente perjudicada.
- **Marginal:** (45-64) – La condición del recurso en numerosas ocasiones difiere de su estado natural o lo deseado, la calidad se deteriora frecuentemente.
- **Pobre:** (0-40) – La condición del recurso usualmente difiere de su estado natural o lo deseado, la calidad casi siempre está deteriorada.

Ejemplo de Cálculo:

En este caso se analizará la Calidad del Agua del sitio “Desembocadura del Río Grande de San Miguel” (RGS) ubicado en la Bahía de Jiquilisco, utilizando la Legislación Extranjera.

Para comenzar, se reúne la siguiente información:

- Cuerpo de Agua o sistema al que se le aplicará el Índice CCME WQI: Bahía de Jiquilisco.
- Puntos de Muestreo: Cinco, según el Capítulo 3 (RGS, VR, PP, PA y PT).
- Parámetros a analizar: Seis, según el Capítulo 1 (T°_m , pH, OD, DBO_5 , SST y SS).
- Campañas de Muestreo: Tres (datos completos para cada una, en cada punto de muestreo).

Teniendo esta información organizada, se procede a calcular el índice CCME WQI, de la siguiente forma:

1. Legislación: Compendio del cuerpo de leyes Extranjeras que regulan los contaminantes presentes en el Agua de Mar.

2. Objetivo: Resumen de Límites Máximos Permisibles de parámetros indicadores de contaminación en Agua de Mar, contemplados en la Legislación Extranjera.
 - $T_m = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $\text{pH} = 7.0 - 8.5$ Unidades de pH
 - $\text{SST} = 30\text{ mg/L}$
 - $\text{SS} = 1\text{ ml/L}$
 - $\text{OD} = 4\text{ mg/L}$
 - $\text{DBO}_5 = 10\text{ mg/L}$

3. Parámetros a evaluar: T_m , pH, OD, DBO_5 , SST y SS.

4. Campañas de Muestreo: Se llevaron a cabo 3 campañas de muestreo en los 5 puntos mencionados anteriormente; en este caso se someterán a evaluación 18 datos, los cuales se muestran a continuación.

Cuadro 5.1: Parámetros Fisicoquímicos obtenidos para el Sitio RGS durante los tres monitoreos en la Bahía de Jiquilisco, 2012.

Código de Estación	Fecha de Muestreo	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	pH	OD (mg/L)	DBO_5 (mg/L)	SS (ml/L)	SST (mg/L)
RGS-1	11/04/2012	31.90	7.58	3.88	3.00	0.02	20.00
RGS-2	04/05/2012	26.90	7.42	5.85	5.00	0.05	29.00
RGS-3	29/05/2012	29.50	7.32	5.19	5.00	0.30	59.50
Objetivos		30	7.0 - 8.5	4	10	1	30

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

5. Identificación del incumplimiento de la norma:

Como puede observarse, de los datos obtenidos para el Sitio RGS durante los tres muestreos en la Bahía de Jiquilisco, los valores que sobrepasan el límite máximo permitido de los parámetros indicadores de contaminación en Agua de Mar son:

- Temperatura de la muestra, medida en el primer muestreo.
- Oxígeno Disuelto, medido en el primer muestreo.
- Sólidos Suspendidos Totales, medidos en el tercer muestreo.

6. Cálculo del Factor F_1 (Alcance):

Luego de identificar los datos que no cumplen con el objetivo procedente de la Legislación Extranjera, se calcula el factor F_1 utilizando la ecuación (5.1):

$$F_1 = \left(\frac{\text{Numero de variables fallidas}}{\text{Numero total de variables}} \right) \times 100$$

$$F_1 = \left(\frac{3}{6} \right) \times 100 = 50$$

Donde el Número de Variables Fallidas representa el número de parámetros que no cumplieron con el objetivo establecido a partir de la Legislación Extranjera y el Número Total de Variables representa todos los parámetros que se someten a evaluación (T_m , pH, OD, DBO_5 , SST y SS en este caso).

7. Cálculo del Factor F_2 (Frecuencia)

Para calcular el F_2 se utiliza la ecuación (5.2):

$$F_2 = \left(\frac{\text{Numero de pruebas fallidas}}{\text{Numero total de pruebas}} \right) \times 100$$

$$F_2 = \left(\frac{3}{18} \right) \times 100 = 16.667$$

Donde el Número de Pruebas Fallidas representa el número de pruebas que no cumplieron con el objetivo establecido a partir de la Legislación Extranjera. Dichas pruebas fueron citadas en el ítem # 5 de esta sección.

8. Cálculo del Factor F_3 (Amplitud)

El factor F_3 se calcula en tres pasos como se muestra a continuación:

- El primer paso requiere del cálculo de las excursiones; como los valores fallidos de las cuatro pruebas (anteriormente citadas en el ítem # 5 de esta sección) para el punto de muestreo RGS no deben exceder el objetivo, ya que éste representa un Límite Máximo Permisible, la excursión se calcula de la siguiente forma utilizando las ecuaciones (5.3) y (5.4):

Para las pruebas del punto de muestreo RGS:

$$excursión_{RGS} = \left(\frac{\text{valor de la prueba fallida}_{RGS}}{\text{Objetivo}_{RGS}} \right) - 1$$

Para RGS-1: Temperatura.

$$excursión_{RGS-1} = \left(\frac{31.90}{30} \right) - 1 = 0.063$$

Para RGS-2: Oxígeno Disuelto.

$$excursión_{RGS-2} = \left(\frac{4}{3.88} \right) - 1 = 0.030$$

Para RGS-3: Sólidos Suspendidos Totales, respectivamente.

$$excursión_{RGS-3} = \left(\frac{59.50}{30} \right) - 1 = 0.983$$

- b. El segundo paso es calcular la suma normalizada de excursiones o nse, por medio de la ecuación (5.5) que nos muestra la cantidad colectiva por el cual las pruebas individuales están fuera de cumplimiento.

Previamente debe calcularse la suma de las excursiones de las pruebas individuales de sus objetivos y luego dividir por el número total de pruebas (tanto los que cumplen con los objetivos de la norma como los que no lo hacen) de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^n excursión = excursión_{RGS-1} + excursión_{RGS-2} + excursión_{RGS-3}$$

$$\sum_{i=1}^n excursión = 0.063 + 0.030 + 0.983 = 1.076$$

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n excursión_i}{numero\ de\ pruebas} = \frac{1.076}{18} = 0.0597$$

- c. En el tercer paso, finalmente se calcula el factor F3 con la ecuación (5.6):

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right)$$

$$F_3 = \frac{0.0597}{(0.01)(0.0597) + 0.01} = 5.634$$

9. Cálculo del CCME WQI:

Una vez que se tienen los tres factores, el índice puede calcularse, sumando los tres valores como si fueran vectores. La suma de los cuadrados de cada factor es igual al cuadrado del índice, se utiliza la ecuación (5.7):

$$CCMEWQI_{RGS} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

$$CCMEWQI_{RGS} = 100 - \left(\frac{\sqrt{50^2 + 16.667^2 + 5.634^2}}{1.732} \right) = 69.40$$

Donde la constante 1.732 normaliza el valor de los resultado entre un rango de 0 a 100.

10. Clasificación de la Calidad del Agua en la Desembocadura del Río Grande de San Miguel, Bahía de Jiquilisco.

Como ya se señaló, los resultados del CCME WQI se encuentran en un rango de 0 a 100 donde “0” representa la “peor” calidad del agua y “100” representa la “mejor” calidad del agua.

A continuación se muestra como se clasifica la calidad del agua con sus respectivos rangos:

Cuadro 5.2: Clasificación de la Calidad del Agua por medio del CCME WQI.

Categoría	Valor
Excelente	95-100
Buena	80-94
Razonable	65-79
Marginal	45-64
Pobre	0-44

Fuentes: Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001.

Tomando en cuenta las categorías sugeridas en el cuadro anterior y utilizando los objetivos establecidos a partir de la Legislación Extranjera, la calidad del agua en la Desembocadura del Río Grande de San Miguel (sitio muestreado de la Bahía de Jiquilisco) se clasifica como RAZONABLE al presentar un ICA igual a 69.40.

Nota: Este procedimiento se sigue de igual forma para cada punto de muestreo mencionado en el Capítulo 3.

5.3 RESULTADOS

Cuadro 5.3: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer sitio de muestreo de la Bahía de Jiquilisco, “Desembocadura del Río Grande de San Miguel”, 2012.

Número de estación	Muestra Fecha	Período	Temperatura Muestra (°C)	pH	Oxígeno Disuelto (OD) mg/L	DBO5 mg/L	Sólidos Sedimentables ml/L	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)
RGS-1	11/04/2012	2012	31.90	7.58	3.88	3.00	0.02	20.00
RGS-2	04/05/2012	2012	26.90	7.42	5.85	5.00	0.05	29.00
RGS-3	29/05/2012	2012	29.50	7.32	5.19	5.00	0.30	59.50
Objetivo			30	7.0 - 8.5	4	10	1	30

PUNTO	F 1	F 2	F 3	CCMEWQI	CATEGORÍA
RGS	50	16.667	5.634	69.400	Razonable

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 5.4: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer sitio de muestreo de la Bahía de Jiquilisco, “Vuelta Redonda”, 2012.

Número de estación	Muestra Fecha	Período	Temperatura Muestra (°C)	pH	Oxígeno Disuelto (OD) mg/L	DBO5 mg/L	Sólidos Sedimentables mL/L	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)
VR-1	11/04/2012	2012	31.20	7.10	1.98	3.00	0.04	105.50
VR-2	04/05/2012	2012	28.70	7.28	4.87	2.00	0.10	75.00
VR-3	29/05/2012	2012	30.20	6.93	3.98	2.00	0.10	32.50
Objetivo			30	7.0 - 8.5	4	10	1	30

PUNTO	F 1	F 2	F 3	CCMEWQI	CATEGORÍA
VR	66.667	44.444	22.348	51.974	Marginal

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 5.5: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer sitio de muestreo de la Bahía de Jiquilisco, “Puerto Parada”, 2012.

Número de estación	Muestra Fecha	Período	Temperatura Muestra (°C)	pH	Oxígeno Disuelto (OD) mg/L	DBO5 mg/L	Sólidos Sedimentables mL/L	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)
PP-1	11/04/2012	2012	32.10	6.77	3.41	3.00	0.01	126.00
PP-2	04/05/2012	2012	29.00	7.36	5.99	2.00	0.10	126.50
PP-3	29/05/2012	2012	31.00	7.13	5.45	4.00	0.10	38.00
Objetivo			30	7.0 - 8.5	4	10	1	30

PUNTO	F 1	F 2	F 3	CCMEWQI	CATEGORÍA
PP	66.667	38.888	28.011	50.328	Marginal

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 5.6: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer sitio de muestreo de la Bahía de Jiquilisco, “Puerto Ávalos”, 2012.

Número de estación	Muestra Fecha	Período	Temperatura Muestra (°C)	pH	Oxígeno Disuelto (OD) mg/L	DBO5 mg/L	Sólidos Sedimentables mL/L	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)
PA-1	11/04/2012	2012	30.30	6.67	4.97	0.00	0.23	44.00
PA-2	04/05/2012	2012	25.00	7.05	7.95	2.00	0.30	13.00
PA-3	29/06/2012	2012	29.80	7.44	7.37	6.00	0.20	13.00
Objetivo			30	7.0 - 8.5	4	10	1	30

PUNTO	F 1	F 2	F 3	CCMEWQI	CATEGORÍA
PA	50	16.667	2.818	69.526	Razonable

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 5.7: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer sitio de muestreo de la Bahía de Jiquilisco, “Puerto El Triunfo”, 2012.

Número de estación	Muestra Fecha	Período	Temperatura Muestra (°C)	pH	Oxígeno Disuelto (OD) mg/L	DBO5 mg/L	Sólidos Sedimentables mL/L	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)
PT-1	11/04/2012	2012	32.20	7.52	3.90	1.00	0.05	87.50
PT-2	04/05/2012	2012	31.10	7.50	5.55	2.00	0.30	81.00
PT-3	29/06/2012	2012	31.70	7.40	5.54	4.00	0.10	47.00
Objetivo			30	7.0 - 8.5	4	10	1	30

PUNTO	F 1	F 2	F 3	CCMEWQI	CATEGORÍA
PT	50	38.888	19.549	61.726	Marginal

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 5.8: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el primer muestreo realizado en la Bahía de Jiquilisco, 2012.

Número de estación	Muestra Fecha	Período	Temperatura Muestra (°C)	pH	Oxígeno Disuelto (OD) mg/L	DBO5 mg/L	Sólidos Sedimentables mL/L	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)
RGS-1	11/04/2012	2012	31.90	7.58	3.88	3.00	0.02	20.00
VR-1	11/04/2012	2012	31.20	7.10	1.98	3.00	0.04	105.50
PP-1	11/04/2012	2012	32.10	6.77	3.41	3.00	0.01	126.00
PA-1	11/04/2012	2012	30.30	6.67	4.97	0.00	0.23	44.00
PT-1	11/04/2012	2012	32.20	7.52	3.90	1.00	0.05	87.50
Objetivo			30	7.0 - 8.5	4	10	1	30

MUESTREO	F 1	F 2	F 3	CCMEWQI	CATEGORÍA
1	66.667	50	4.414	49.863	Marginal

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 5.9: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el segundo muestreo realizado en la Bahía de Jiquilisco, 2012.

Número de estación	Muestra Fecha	Período	Temperatura Muestra (°C)	pH	Oxígeno Disuelto (OD) mg/L	DBO5 mg/L	Sólidos Sedimentables mL/L	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)
RGS-2	04/05/2012	2012	26.90	7.42	5.85	5.00	0.05	29.00
VR-2	04/05/2012	2012	28.70	7.28	4.87	2.00	0.10	75.00
PP-2	04/05/2012	2012	29.00	7.36	5.99	2.00	0.10	126.50
PA-2	04/05/2012	2012	25.00	7.05	7.95	2.00	0.30	13.00
PT-2	04/05/2012	2012	31.10	7.50	5.55	2.00	0.30	81.00
Objetivo			30	7.0 - 8.5	4	10	1	30

MUESTREO	F 1	F 2	F 3	CCMEWQI	CATEGORÍA
2	33.333	13.333	17.693	76.892	Razonable

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 5.10: Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para el tercer muestreo realizado en la Bahía de Jiquilisco, 2012.

Número de estación	Muestra Fecha	Índice Período	Temperatura Muestra (°C)	pH	Oxígeno Disuelto (OD) mg/L	DBO5 mg/L	Sólidos Sedimentables mL/L	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)
RGS-3	29/05/2012	2012	29.50	7.32	5.19	5.00	0.30	59.50
VR-3	29/05/2012	2012	30.20	6.93	3.98	2.00	0.10	32.50
PP-3	29/05/2012	2012	31.00	7.13	5.45	4.00	0.10	38.00
PA-3	29/06/2012	2012	29.80	7.44	7.37	6.00	0.20	13.00
PT-3	29/06/2012	2012	31.70	7.40	5.54	4.00	0.10	47.00
Objetivo			30	7.0 - 8.5	4	10	1	30

MUESTREO	F 1	F 2	F 3	CCMEWQI	CATEGORÍA
3	50	26.667	6.279	67.082	Razonable

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Cuadro 5.11: Resumen del Índice de Calidad del Agua por medio del CCME WQI, para los sitios y muestreos realizados en la Bahía de Jiquilisco, 2012.

SITIO	Muestreo 1						Muestreo 2						Muestreo 3						ICA		
	Tm (°C)	pH	OD (mg/L)	DBO5 (mg/L)	S Sed (mL/L)	SST (mg/L)	Tm (°C)	pH	OD (mg/L)	DBO5 (mg/L)	S Sed (mL/L)	SST (mg/L)	Tm (°C)	pH	OD (mg/L)	DBO5 (mg/L)	S Sed (mL/L)	SST (mg/L)	PUNTO	CCMEWQI	CATEGORÍA
RGS	31.90	7.58	3.88	3.00	0.02	20.00	26.90	7.42	5.85	5.00	0.05	29.00	29.50	7.32	5.19	5.00	0.30	59.50	RGS	69.400	Razonable
VR	31.20	7.10	1.98	3.00	0.04	105.50	28.70	7.28	4.87	2.00	0.10	75.00	30.20	6.93	3.98	2.00	0.10	32.50	VR	51.974	Marginal
PP	32.10	6.77	3.41	3.00	0.01	126.00	29.00	7.36	5.99	2.00	0.10	126.50	31.00	7.13	5.45	4.00	0.10	38.00	PP	50.328	Marginal
PA	30.30	6.67	4.97	0.00	0.23	44.00	25.00	7.05	7.95	2.00	0.30	13.00	29.80	7.44	7.37	6.00	0.20	13.00	PA	69.526	Razonable
PT	32.20	7.52	3.90	1.00	0.05	87.50	31.10	7.50	5.55	2.00	0.30	81.00	31.70	7.40	5.54	4.00	0.10	47.00	PT	61.726	Marginal
ICA						ICA						ICA									
MUESTREO		1				MUESTREO		2				MUESTREO		3							
CCMEWQI		49.863				CCMEWQI		76.892				CCMEWQI		67.082							
CATEGORÍA		Marginal				CATEGORÍA		Razonable				CATEGORÍA		Razonable							

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

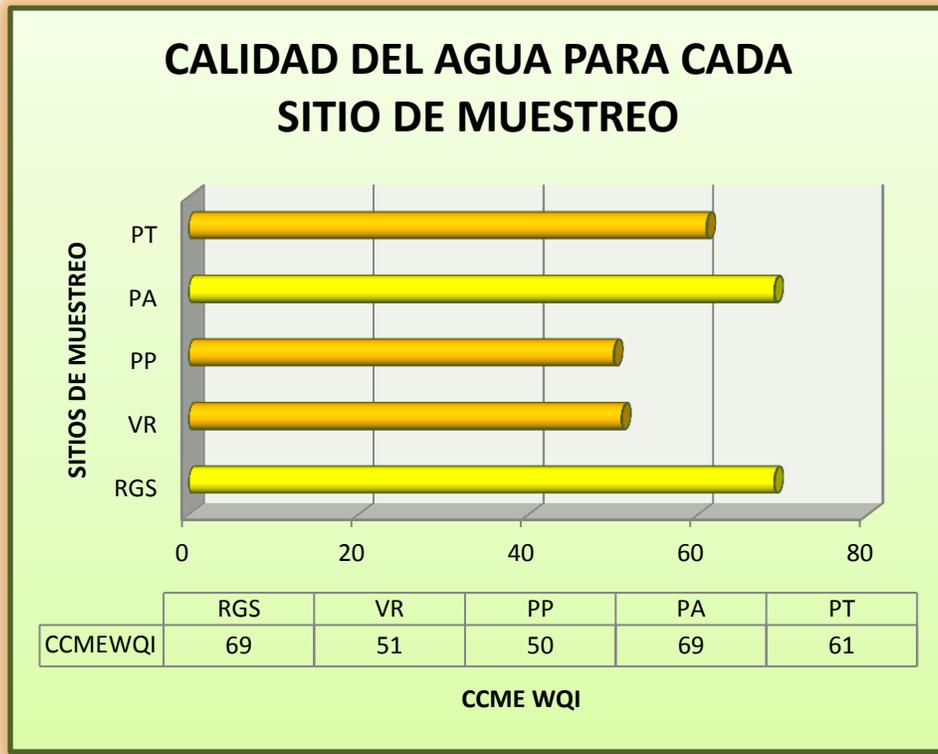


Figura 5.1: ICA por Sitio de Muestreo.

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

La calidad del Agua de Mar resultó ser MARGINAL para la mayoría de los sitios de muestreo y RAZONABLE en los puntos menos contaminados, con un resultado levemente mayor, para el Sitio “RGS” y “PA”. Existen diversas razones que pudieron afectar en dicho resultado.

Entre los factores que pudieron influir está la marea, el tipo de descargas cercanas al sitio de muestreo, estación del año, entre otros.

Estuarios y Ciclos Biogeoquímicos de Contaminantes

En el intercambio de contaminantes del río y el mar se pueden presentar las siguientes interacciones:

- a) Someros

- Cambios de salinidad.
 - Cambios de temperatura.
- b) Mezclas de agua
- Efectos en la circulación.
 - Presencia de cuñas salinas.
 - Cambios en las cargas eléctricas de los compuestos químicos.
- c) Trampas de sedimentos
- Colectores de sedimentos de origen fluvial y marino (arena-fango)
 - Reacciones electroquímicas que producen la agregación y asentamiento de partículas sobre el fondo.
- d) Asociación entre los contaminantes y sedimento.

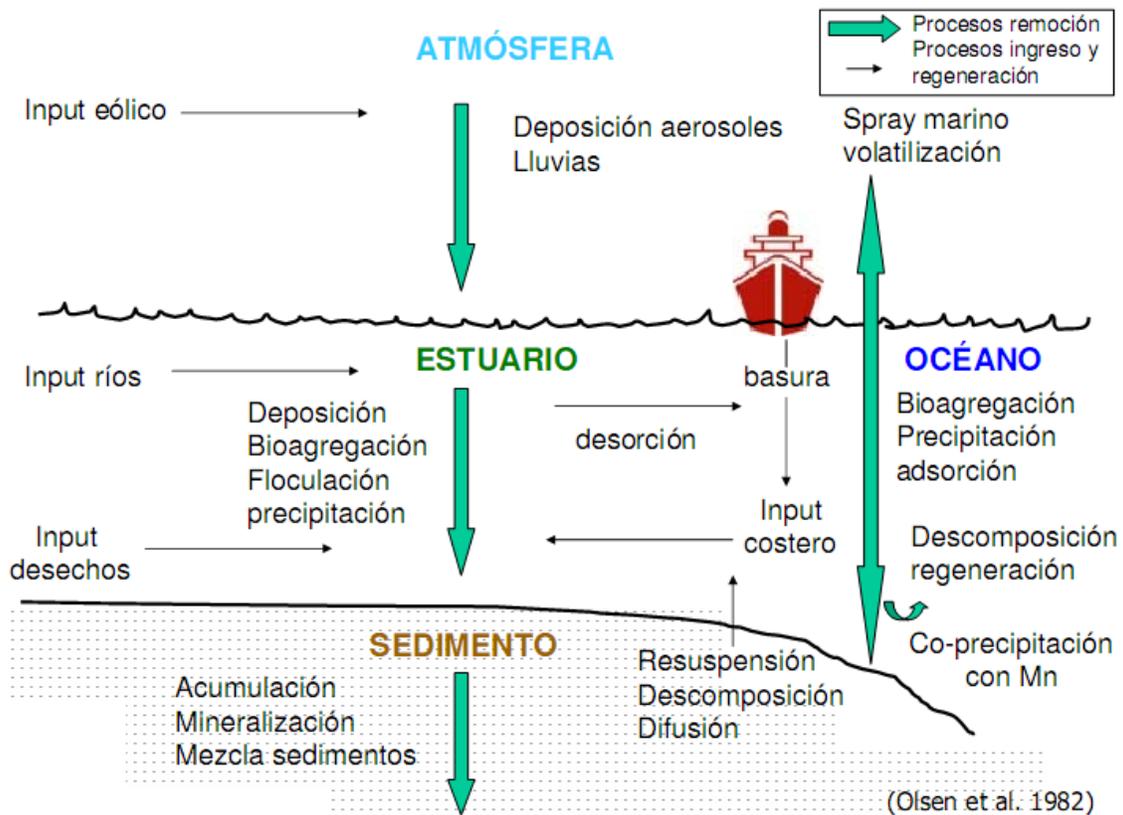
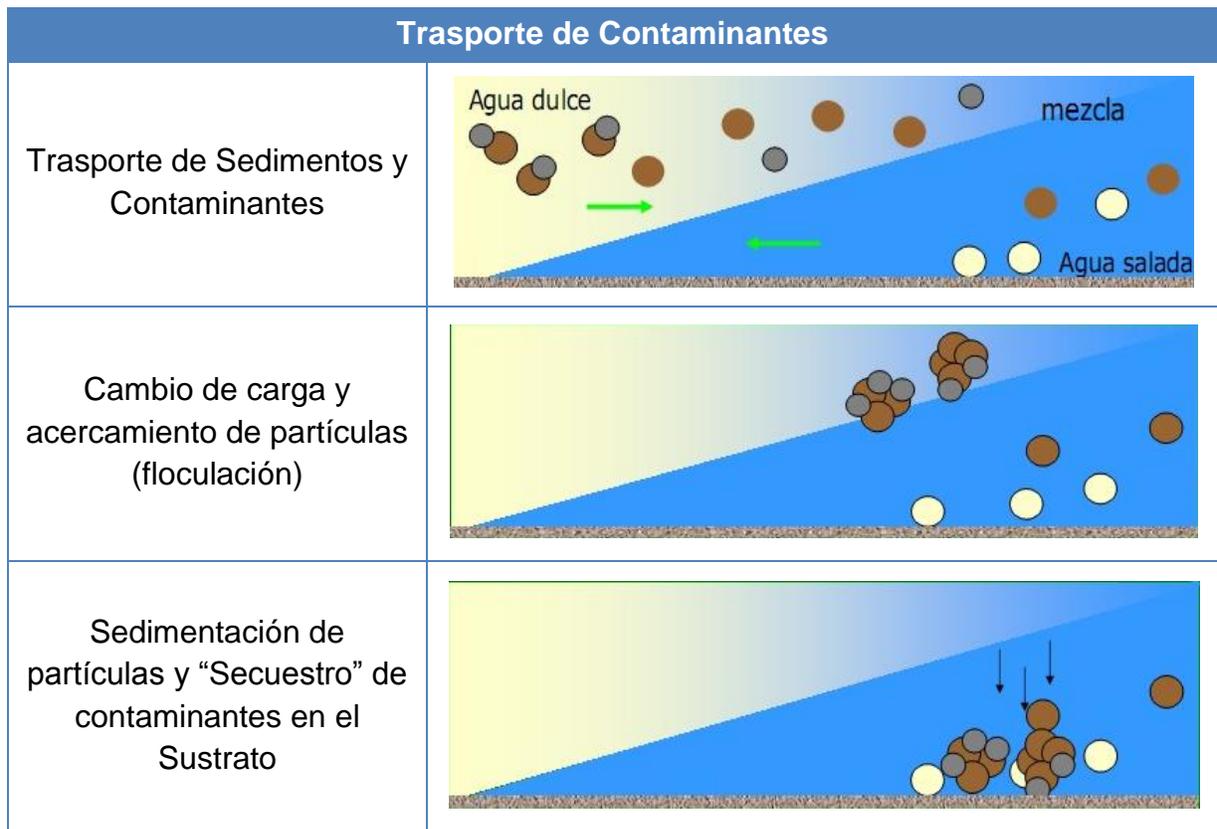


Figura 5.2: Ciclo Biogeoquímico de contaminantes en estuarios

Fuente: Olsen et al. 1982.

Cuadro 5.12: Transporte de contaminantes en cuñas marinas



Fuente: Causas y Efectos de la Contaminación Marina (Laura Rodríguez-Graña) 2006.

Como el monitoreo de la calidad de las aguas en la Bahía de Jiquilisco se realizó en época seca y el último muestreo en transición entre la época seca y la lluviosa, el río presentaba un efluente no muy turbulento a la hora de su ingreso al mar, razón por la cual los contaminantes que arrastraba el río se encontraban en el sedimento y la arena del fondo, y la calidad de ese sitio resultó ser Razonable. En época lluviosa ocurre lo contrario, debido a que el río es muy turbulento arrastra los sedimentos depositados en el fondo hacia la superficie del agua.

En el sitio de monitoreo llamado Puerto Avalos, el caudal del río es pequeño por lo que los contaminantes siempre se encuentran en los lodos, que se ve alterado cuando la marea sube y los diluye. Razón por la cual la calidad en ese punto resultó ser razonable.

Para el sitio de monitoreo en Puerto Parada, por ser un puerto con afluencia de turistas y medios de transporte, presenta la calidad del agua más baja.

El resultado en todos los sitios de muestreo (a excepción del RGS y PA) pudo ser influenciado por la época seca y la marea en transición de Alta a Baja, disminuyendo la dilución en el Agua y contribuyendo a una concentración mayor de los parámetros indicadores de contaminación.

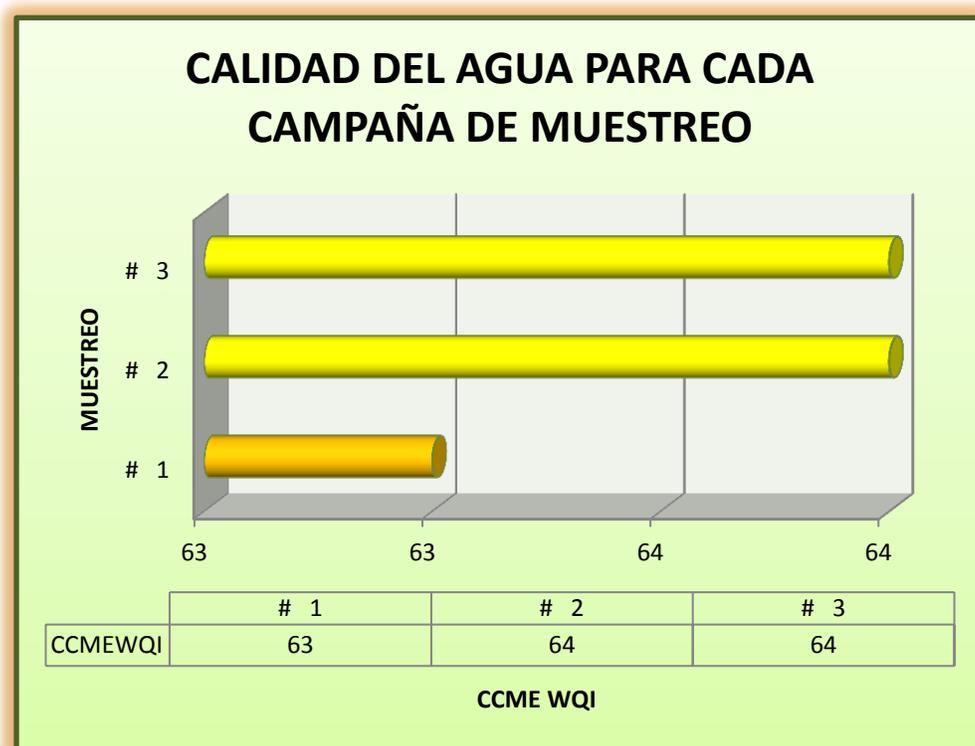


Figura 5.3: ICA por Campaña de Muestreo.

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Este resultado pudo ser altamente influido por la época seca y para la fecha en que se realizó el tercer muestreo ya se presentaban algunas lluvias dispersas, por lo que la calidad de las aguas mejoro aparentemente, debido a que favoreció a aún más a la dilución de los contaminantes, por lo que se obtuvieron mejores resultados.

En resumen, la calidad del agua de la Bahía de Jiquilisco es MARGINAL deteriorándose frecuentemente.

La calidad del agua está frecuentemente amenazada o dañada, su condición frecuentemente se aparta de los niveles naturales o deseables.

CONCLUSIONES

1. La curva de calibración del método, se construye a partir de concentraciones bajas de DBO₅, debido a que las muestras extraídas del sitio de estudio presentan bajos niveles de esta.
2. El intervalo de trabajo (2 desviaciones estándar +/-) más confiable del método se encuentra en los rangos de concentración de 2.5 a 12 mg/L. pero la curva de calibración se construyo con niveles de concentración mayores, para observar la tendencia del método.
3. Los niveles de fortificación utilizados durante la validación de la DBO₅ aseguraron que la linealidad de la curva no se perdiera al mantenerlos dentro del rango de concentración de 0 a 20 mg/L.
4. La ecuación de regresión obtenida experimentalmente permite generar resultados reales de las concentraciones de la DBO₅, reflejando la proporcionalidad del método con las concentraciones teóricas e indicando estadísticamente al modelo como apto para explicar con 99.56% la variabilidad en relación a la DBO₅.
5. De acuerdo al nivel de significancia de 0.050, se puede decir que se alcanzó satisfactoriamente una regresión del 0.9956, la cual es superior a la establecida por el método y con un intervalo de confianza de 0.815 mg/L a 14.758 mg/L de DBO₅.
6. A medida que los niveles de fortificación aumentan, también lo hace la variabilidad en las muestras.
7. Se presenta una menor desviación estándar de la media al mantener las fortificaciones de las muestras en un nivel bajo de concentración de 2.5 mg/L.
8. La presencia del analito puede detectarse en la matriz de agua de mar a partir de los 0.815 mg/L y puede cuantificarse desde los 2.718 mg/L hasta un máximo de 14.758 mg/L.

9. De acuerdo a los estadísticos de prueba es evidente que se obtienen resultados más satisfactorios al trabajar en el nivel medio de fortificación al obtener un sesgo de 1.26% lo cual indica una mayor veracidad del método; mientras que en el nivel bajo y alto de fortificación, hay una diferencia sistemática importante en relación al valor de referencia aceptado al obtener un sesgo de 1.63% y 1.54% respectivamente.
10. Se presenta una mayor precisión al trabajar en el nivel bajo de fortificación al presentar un coeficiente de variación del 11.06%.
11. La capacidad de recobro del método se encuentra satisfactoriamente dentro del 80% al 120% para los blancos fortificados en los tres niveles presentando una mayor exactitud en el nivel alto de fortificación.
12. El Índice de Calidad de Agua en la Bahía de Jiquilisco utilizando el Índice Canadiense indica la posibilidad de usos recreativos, pesca y buen desarrollo de la vida acuática.
13. No hay diferencia significativa entre el F (Comparación entre Varianzas) obtenido y el F tabulado en las muestras de agua salada debido a la implementación de la metodología propuesta para la validación analítica de la DBO_5

RECOMENDACIONES

1. Es importante ampliar el tiempo de monitoreo (utilizando un período mínimo de un año) abarcando las dos estaciones del año. Colectar los datos sobre el cuerpo de agua para cubrir este espacio de tiempo, o también se pueden combinar datos de años diferentes, especialmente cuando la información en cierto año está incompleta, aunque se perderá información sobre la variabilidad.
2. De igual forma es importante ampliar el número de estaciones de muestreo para garantizar una mayor representatividad del cuerpo de agua en estudio.
3. Los equipos utilizados durante el monitoreo de la Bahía de Jiquilisco y la validación de la DBO_5 son sensibles a las condiciones de salinidad, por lo que es preciso utilizar el equipo adecuado que tenga la capacidad de soportar altas concentraciones de salinidad y de esta forma reducir errores al momento de realizar las mediciones correspondientes.
4. Para implementar el método, se recomienda mantener como mínimo 2 mg/L de consumo de oxígeno final en los frascos para el análisis de la DBO_5 , debido a que si este consumo es menor, cabe la posibilidad de que el oxígeno sea insuficiente para la cantidad de muestra o patrón que se haya adicionado.
5. Los niveles de saturación de oxígeno adecuados para implementar el método de validación es de 6.5 – 7.5 mg/L, ya que a saturaciones iniciales mayores a éstas las concentraciones experimentales tienden a aumentar el valor de las concentraciones teóricas, y viceversa. Si la saturación es inferior, las concentraciones experimentales tienden a reducirse, pero en ambos casos se mantiene la tendencia o linealidad del método desarrollado.
6. Mantener las condiciones de temperatura de la muestra a 20°C ya que ésta se encuentra en relación directa a los resultados de Oxígeno Disuelto.
7. Incluir más parámetros fisicoquímicos indicadores de contaminación, con el fin de reflejar de mejor forma la condición en la que se encuentra el cuerpo de agua en estudio.

8. Realizar análisis microbiológicos (enterococos y coliformes fecales/totales) al cuerpo de agua en estudio tal como se hizo en el Monitoreo de la Calidad de Agua de la Zona Costera de El Salvador el pasado mes de abril, con el fin de robustecer el resultado del ICA, así como en este caso se realizó la validación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para dicho fin.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Edition 21. APHA/AWWA/WPCF. 1134 pp.
2. Bedoya Lora, F.E. (2009). *Homologación de Métodos de Análisis Fisicoquímicos empleados en Postobón S.A. para materias primas y producto terminado y validación del método para la determinación de Grados Brix*. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Medellín, Colombia.
3. Blandón de Grajeda, F. (1999). *Bienvenidos a Jiquilisco. Monografía Municipal*. Editado por: Fundación Nacional para el Desarrollo, FUNDE. Primera edición. San Salvador, El Salvador. CA.
4. Bravo Inclán, L. A. (2004). *Serie Autodidáctica en Materia de Normas Técnicas Relacionadas con la Inspección y Verificación*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua (CNA), Primera Edición.
5. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. (2005). *Identificación de Cuencas con Alto Potencial Económico*. Informe final de consultoría. El Salvador.
6. Comisión Nacional del Agua, CNA (1993). *Manual de Procedimientos para Muestreo, Mediciones de Campo y Visitas de Inspección en Aguas y Aguas Residuales*. México, D.F., Primera versión.
7. Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT. (2010). *Guía de Validación métodos de análisis Última Versión*. El Salvador.
8. DIAZ, I et al. (2003). *Plan de Manejo Área Natural Bahía de Jiquilisco*. MARN-AECI. El Salvador.
9. Dirección General de Estadísticas y Censos, DIGESTYC. (2010). *VI Censo de Población y V de Vivienda*. Atlas Sociodemográfico. San Salvador, El Salvador.
10. Dirección General del Observatorio Ambiental, DGOA. (2012). *Descripción del Viento y Oleaje*. MARN. San Salvador, El Salvador.

11. 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.
12. Gallo, M. (2005). *Estado del Conocimiento de la Biodiversidad en El Salvador, Documento Final*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). El Salvador.
13. Giuseppe Cognetti, M. S. (2001). *Biología Marina*. Editorial Ariel S. A. España.
14. Herrera, W. E. (2009). *Descripción del oleaje en El Salvador*. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” UCA. El Salvador.
15. 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.
16. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “Invemar”. (2003). *Manual de Técnicas analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos*. Santa Marta. Colombia.
17. Jiménez, J., R. S. (1985). *Patrones Regionales en la Estructura y Composición Florística de los Manglares de la Costa Pacífica de Costa Rica*. Costa Rica.
18. Jiménez Pérez, I. y L. Sánchez-Mármol Gil. (2004). *Complejo Bahía de Jiquilisco. Propuesta de Sitio Ramsar*. MARN/AECI. San Salvador. El Salvador C.A.
19. Mainardi, V. (1996). *El manglar de Térraba Sierpe en Costa Rica*. CATIE. Costa Rica.
20. MARN. (2004). *Plan de manejo del área natural y humedal bahía de Jiquilisco*. San Salvador, El Salvador UCA Editores. 258 pp.

21. MARN (2012). *Almanaque Marino-Astronómico*. Servicio Oceanográfico Nacional. El Salvador.
22. MARN/VMDUVIVOU. (2003). *Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial (en formulación)*. IBERINSA/EPYPSA. Varios volúmenes.
23. Martínez Saúl, C., Lobato Calleros, M., & García Cabrera, J. (1997). *Instrumentación del control de calidad en actividades y evaluación in situ de muestras de agua*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua.
24. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, OIRSA. (2007). *Descripción de las Lagunas Costeras de El Salvador*. Informe.
25. Rafael F. Gómez Mendoza, M. S. (2004). *Serie Autodidáctica de Medición de la Calidad*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua.
26. Rivera, C. G. (2002). *Distribución de poliquetos (Annelida: Polychaeta) en la zona costera de El Salvador*. Universidad de El Salvador, UES. El Salvador.
27. Rivera, C. G. (2010). *El Ecosistema de Manglar de la Bahía de Jiquilisco: Sector Occidental*. s.n. El Salvador.
28. Rosales Ayala, Francisco David. (2009). *Lineamientos para un Modelo de Gestión Integral Participativa de los Vertidos Líquidos en el Ámbito Municipal*. Antiguo Cuscatlán, El Salvador: Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas".
29. Sierra Ramírez, C.A. (2011). *Calidad del Agua. Evaluación y Diagnóstico*. Universidad de Medellín. Bogotá, Colombia.
30. TURASIST. (2010). *Plan Nacional de Turismo 2014 El Salvador*. Primera Edición. San Salvador, El Salvador.

Páginas web:

31. Banco Central de Reserva (BCR). <http://www.bcr.gob.sv/?cat=0>. Página Principal del Banco Central de Reserva (BCR). Citado: 06 de abril de 2012. Temas > Cuadros Estadísticos > Producto Interno Bruto (PIB) por sectores 2001-2007.

32. *Canadian Council of Ministers of the Environment. (2001).* http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrprtftsht_e.pdf
Citado: 9 de agosto de 2012. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
33. *Descripción del Viento y Oleaje.* <http://www.snet.gob.sv/>.
Citado: 15 de abril de 2012. Servicio Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA). San Salvador, El Salvador.
34. *Humedales.* <http://www.marn.gob.sv/>.
Citado: 10 de abril de 2012. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). San Salvador, El Salvador.
35. Información presentada por el Gobierno de El Salvador ante la séptima sesión de la Comisión de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas. Última revisión: junio de 1999.
<http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/elsal/natur.htm#oceans>
36. *La Convención de Ramsar y su misión.*
http://www.ramsar.org/cda/es/ramsarwd12index/main/ramsar/1%5E255734000_2.
Citado: 25 de febrero de 2012. La Convención de Ramsar.
37. *Lista de Humedales de Importancia Internacional.*
http://www.ramsar.org/cda/es/ramsarwd12index/main/ramsar/1%5E255734000_2.
Citado: 25 de febrero de 2012. La Convención de Ramsar.
38. *Municipio de Jiquilisco.*
<http://municipiodejiquilisco.blogspot.com/2009/07/bahia-de-jiquilisco.html>.
Página: Bahía de Jiquilisco. Citado: 15 de marzo de 2012. Municipio de Jiquilisco, Bahía de Jiquilisco, Datos generales.

GLOSARIO

Avenida: Es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de éste. Durante la crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo. Entonces el agua lo desborda e invade el lecho mayor, también llamado llanura aluvial.

Biotemperatura: Temperatura del aire, aproximadamente entre 0°C y 30°C que determina el ritmo e intensidad de los procesos fisiológicos de las plantas (fotosíntesis, respiración y transpiración) y la tasa de evaporación directa del agua contenida en el suelo y en la vegetación.

Braquiuros: Son un infraorden de crustáceos decápodos que incluye la mayor parte de los cangrejos de mar. Los braquiuros son conocidos como cangrejos, aunque algunos reciben otros nombres, pero no todos los cangrejos pertenecen a este grupo.

Canícula: En el período canicular o días de las canículas es la temporada del año en que es más fuerte el calor, tanto en el hemisferio Sur como en el Norte. La duración oscila entre 4 y 7 semanas dependiendo del lugar, en algunos lugares se inicia con el solsticio de verano (el 21 de junio en el hemisferio norte y 21 de diciembre en el hemisferio sur).

Cnidarios: Son organismos acuáticos fundamentalmente marinos y unas cuantas formas dulceacuícolas, todos ellos muy variables en apariencia y en modos de vida, pero con una organización básica muy similar expresada en un cuerpo cilíndrico con simetría radial. El grupo incluye más de 9,000 especies conocidas (medusas, anémonas, pólipos y corales) que suelen habitar en lugares poco profundos, siendo común a todas ellas poseer unos órganos urticantes denominados nematocistos provistos de unas células que reciben la denominación de cnidocitos. Su tamaño es muy variable, algunos pólipos son microscópicos y las mayores medusas alcanzan más de tres metros de anchura.

Ecosistema litoral: Los ambientes litorales constituyen áreas de transición entre los sistemas terrestres y los marinos. Conceptualmente son ecotonos, fronteras ecológicas que se caracterizan por intensos procesos de intercambio de materia y energía. Son ecosistemas muy dinámicos, en constante evolución y cambio. De las razones que inciden en el considerable dinamismo del litoral destacan los

procesos geomorfológicos dominantes, que diferencian dos tipos de costa, de erosión (acantilados) y de sedimentación (playas, arenales y humedales costeros).

Especificidad: Capacidad de un método analítico para obtener una respuesta debida únicamente al analito de interés y no a otros componentes de la muestra. (Guía de validación de métodos analíticos, Colegio de Químicos Farmacéuticos Biólogos México, A.C.)

Estabilidad analítica de la muestra: Propiedad de una muestra, preparada para su análisis, de conservar su integridad física o química y la concentración del analito, después de almacenarse durante un tiempo determinado durante condiciones específicas. (Basado en la Guía de Validación de Métodos analíticos del Colegio Nacional de Químicos Farmacéuticos, Biólogos, México A.C. Edición 2002)

Evapotranspiración: La evapotranspiración es esencialmente igual a la evaporación, excepto que la superficie de la cual se escapan las moléculas de agua no es una superficie de agua, sino hojas de plantas. La cantidad de vapor de agua que transpira una planta, varía día a día con los factores ambientales que actúan sobre las condiciones fisiológicas del vegetal y determinan la rapidez con que el vapor del agua se desprende de la planta, siendo los principales:

- Radiación solar
- Humedad relativa
- Temperatura
- Viento

Exactitud de una medición: Es la proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y el valor de referencia aceptado. (Guía EURACHEM)

Incertidumbre de medida: Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

Legislación internacional: Son regulaciones que afectan a la Comunidad Internacional y que también se refieren al derecho de la información.

Ley extranjera: Es aquella regla de derecho o disposición de carácter general, abstracto y permanente que ha sido generalmente creada por el legislador extranjero o por un organismo internacional para regular los comportamientos sociales, económicos o políticos en un determinado Estado o territorio. El

reconocimiento de la Ley Extranjera se realiza en el momento en que el Poder Ejecutivo acepta las cartas credenciales de los embajadores de otras naciones.

Límite de cuantificación: La menor concentración de un analito que puede determinarse con una precisión (repetibilidad) y una exactitud aceptables bajo las condiciones establecidas de la prueba. (Guía EURACHEM)

Límite de detección: El menor contenido que puede medirse con una certeza estadística razonable o la menor concentración del analito en una muestra que puede detectarse, pero no necesariamente cuantificarse bajo las condiciones establecidas de la prueba. (Guía EURACHEM).

Linealidad: Define la habilidad del método para obtener resultados de la prueba proporcionales a la concentración del analito. (Guía EURACHEM)

Linealidad del sistema (instrumental): Capacidad de un instrumento de medición para proporcionar una indicación que tenga una relación lineal con una magnitud determinada distinta de una magnitud de influencia.

Litoral: Son las grietas y fisuras que crea el oleaje del mar al golpear un acantilado. La fuerza de la erosión del mar pueden provocar viseras en las rocas. Finalmente cuando la base de las rocas está desgastada la superficie se desploma y quedan agujeros por los que, cuando hay marea alta, sale el agua.

Material de Referencia (MR): Material o sustancia en la cual uno o más valores de sus propiedades son suficientemente homogéneos y bien definidos como para ser utilizados en la calibración de aparatos, en la evaluación de un método de medición o para asignar valores a otros materiales. (Guía EURACHEM)

Mensurando: Magnitud que se desea medir VIM 2.3 (2.6) 3ª Edición

Métodos no normalizados: Se refiere a los métodos que son proporcionados por el proveedor de un equipo y no provienen directamente de un libro oficial, por lo que no pueden considerarse como desarrollados por el laboratorio, pero sí pueden ser validados por él.

Poliquetos: Son una clase del filo de los anélidos. Es el grupo más numeroso de ese filo, con unas 10.000 especies descritas. Son animales acuáticos, casi exclusivamente marinos, caracterizados por portar en cada segmento un par de parápodos, con su rama dorsal y su rama ventral, dotados de numerosas quetas.

Precisión: Es la proximidad de concordancia entre los resultados de pruebas independientes obtenidos bajo condiciones estipuladas. (Guía EURACHEM)

Precisión intermedia: La precisión intermedia expresa la variación dentro de un laboratorio en: diferentes días, diferentes analistas, diferente equipo, etc. (Guía EURACHEM).

Protocolo de validación: Descripción de pruebas específicas para demostrar que un proceso da resultados que cumplen con los criterios preestablecidos de manera consistentes (Guía de validación de métodos analíticos, Colegio de Químicos Farmacéuticos Biólogos México, A.C.)

Rango o intervalo: Se define como el intervalo entre la concentración superior e inferior para las cuales se ha demostrado la correcta precisión, exactitud y linealidad del método. (Validación de métodos analíticos; A.E.F.I.) 2001.

Relicto: El término relicto remite a los remanentes sobrevivientes de fenómenos naturales. En biología un relicto es un organismo que en otras eras fue abundante en una gran área, y que ahora está solo en pequeñas áreas.

Repetibilidad: Precisión en condiciones de repetibilidad, es decir, condiciones según las cuales los resultados independientes de una prueba se obtienen con el mismo método, sobre objetos de prueba idénticos, en el mismo laboratorio, por el mismo operador, usando el mismo equipo y dentro de intervalos de tiempo cortos. (Guía EURACHEM).

Revalidación: La revalidación de un método analítico consiste en repetir de forma total o parcial su validación, ya sea debido a modificaciones en el método, equipos, en la muestra a analizar, etc. Para garantizar la obtención de resultados fiables. (Validación de métodos analíticos; A.E.F.I.) 2001.

Sucesión ecológica: La sucesión ecológica es un fenómeno natural que ocurre gracias a que constantemente un hueco recién formado es susceptible de ser colonizado por nuevas especies para regenerar el que previamente desapareció o cambió.

Sucesiones primaria: Son sucesiones primarias aquellas en las que no interviene el ser humano; son naturales. Es el caso de la colonización de suelos volcánicos, la sucesión en lagunas no contaminadas o las variaciones en las dunas costeras.

Sucesiones secundarias: Una sucesión se denomina secundaria si se establece en una zona en la que previamente existía una comunidad que ha sido parcial o totalmente eliminada, como por ejemplo un bosque tras un incendio.

Validación: Confirmación mediante el suministro de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos para una utilización o aplicación específica prevista. (ISO 9000:2008/3.8.5)

Validación de un Método:

1. El proceso de establecer las características de desempeño y limitaciones de un método y la identificación de las influencias que pueden modificar esas características y hasta qué punto. ¿Qué analitos puede determinar el método, en qué matrices, en presencia de qué interferencias? ¿En esas condiciones, qué niveles de precisión y de exactitud pueden alcanzarse?
2. El proceso de verificación de que un método es adecuado a su propósito, o sea, para resolver un problema analítico particular. (Guía EURACHEM).

Zona supralitoral o supramareal: Franja que separa el medio litoral del terrestre. Es la zona de la costa a donde no llega el agua del mar en los niveles más altos de las mareas. Sin embargo, en las costas expuestas, las salpicaduras del mar llegan siempre a ella por la acción del viento. Es la zona que sufre las variaciones ambientales con más fuerza.

ANEXOS

Anexo A: Bahía de Jiquilisco, Segundo Sitio Ramsar de El Salvador

La Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, llamada la Convención de Ramsar, es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos.

La misión de la Convención es “la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo”.

La Convención emplea una definición amplia de los tipos de humedales abarcados por esta misión, incluidos pantanos y marismas, lagos y ríos, pastizales húmedos y turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, zonas marinas próximas a las costas, manglares y arrecifes de coral, así como sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, embalses y salinas.⁷

El Salvador cuenta con seis sitios Ramsar los cuales se mencionan en el siguiente cuadro:

Cuadro A.1: Sitios Ramsar de El Salvador

Posición	Sitio Ramsar	Posición Ramsar	Fecha de Declaración	Ubicación
1	Laguna El Jocotal	970	22 Enero de 1999	Departamento de San Miguel y Usulután en los municipios de El Tránsito, San Miguel, Chirilagua y Jucuarán.
2	Bahía de Jiquilisco	1586	31 de Octubre de 2005	Departamento de Usulután en los municipios de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, Usulután, San Dionisio, Concepción Batres y Jucuarán.
3	Embalse Cerrón Grande	1592	22 Noviembre de 2005	Departamento de Chalatenango, San Salvador, Cuscatlán y Cabañas en los municipios de El Paisnal, Suchitoto, Cinquera, Jutiapa, Potonico, San Luis del Carmen, San Francisco Lempa, Azacualpa, Nueva Concepción, Chalatenango, Santa Rita, San Rafael, El Paraíso y Tejutla.
4	Laguna Olomega	1899	2 de Febrero de 2010	Departamentos de San Miguel y La Unión, en los municipios de San Miguel, Chirilagua y El Carmen.
5	Complejo Güija	1924	16 de diciembre de 2010	Departamento de Santa Ana, en los municipios de Metapán, San Antonio Pajonal.

⁷La Convención de Ramsar. (2012).

Posición	Sitio Ramsar	Posición Ramsar	Fecha de Declaración	Ubicación
6	Complejo de Jaltepeque	1935	2 de febrero de 2011	Municipios San Pedro Masahuat, Santiago Nonualco, San Juan Nonualco, Zacatecoluca y San Luis La Herradura, del Departamento de La Paz y Tecoluca del Departamento de San Vicente.

Fuente: Ramsar List of Wetlands of International Importance, 2012

A continuación se describe el tipo de flora y fauna que presenta la Bahía de Jiquilisco:

a) Especies de flora típica o definitoria:

Se dan formaciones de manglar como “mangle colorado”, “mangle rojo”, “mangle rojo gigante”, “madresal”, “botoncillo”, e “istaten”. Las mejores muestras de este tipo de vegetación se encuentran en el sector oriental de la Bahía. En los bosques estacionalmente saturados destaca el mangle de agua dulce, el papaturro, ojo de venado, mongollano, carbón, diversas especies de *Ficus* sp., “hule”, “iscanal”, “aguijote”, “huesito” y “huiscoyol”. En las lagunas de inundación del río Grande de San Miguel abunda el tule y especies de ciperáceas y plantas acuáticas.

b) Especies de fauna típica o definitoria:

En la bahía de Jiquilisco se encuentran tres especies de bivalvos del género *Anadara* llamado comúnmente “curil”, concha negra y casco de burro con un claro valor comercial.

Otra especie de invertebrado que sufre una alta presión de explotación es el “cangrejo punche”, junto con el tilhuacal, y varias especies de camarones peneidos que se crían en la Bahía. El área alberga una de las más variadas avifaunas del país y es considerado un sitio importante para la concentración de aves migratorias, inclusive a escala centroamericana. Las playas e islotes de la bahía y sus alrededores sirven como área de cría a varias especies de aves playeras o coloniales. En un islote situado enfrente de la isla de San Sebastián conocido como El Bajón, se ha identificado la única colonia para Centroamérica del rayador americano y las poblaciones más numerosas en El Salvador.

La isla San Sebastián es probablemente el mejor sitio para la reproducción del ostrero en el país, siendo ésta una de las especies de aves más amenazadas de El Salvador.

Anexo B: Red Hidrográfica de La Bahía De Jiquilisco

En el siguiente cuadro, se da una relación detallada de los ríos, quebradas y esteros, canales y cañones que constituyen la red hidrológica de la Bahía de Jiquilisco.

Cuadro B.1: Red Hidrográfica de la Bahía de Jiquilisco.

Municipio	Recurso Hídrico	Nombre
Usulután	Río	Juan, La Poza, Chiquito, El Molino, El Zope, Mejicapa, Grande de San Miguel, Zarco, Tinto y Ereaguayquín.
	Quebradas	El jocote Dulce, Las Trancas, la Pushunta, San Lorenzo, La Peña, El Cerrito, El Puente, la Hulera, Ojo de Agua, Carrasco, La Cruz o El Ojushte, Gavidia y La Lava.
	Canales	Barillas, Los Lagartos, Dos Aguas, Del Chile, santa Rita y El Lodazal.
	Esteros	El Desagüe, El Tambor, Madresal, El Roto, Arena Gorda, El Pasdero, El Botoncillo, El Flor, Santa Rosa, de Mapachín, de María Cañas y María Cañitas.
	Cañones	El Paso, Botoncillo, El Limón.
Jiquilisco	Ríos	Lempa, Chiquito o San Agustín, de Plata, España, Paulino, Zapata, Callejas, La Pascuala, El Platanar, Roldán, el espino, Duende de Oro, Nanachepa, El Borbollón, el Potrero, El astillero, El Zapote, Los Limones, Aguacayo, Roquinte, El Cacao y Chaguantique.
	Quebradas	El Número, El Carmen, Los Chorros, Los Chorritos o La Piscina, La Peña, Cuchupona, Tres Calles, seca, El Jobal, El Coyol o Seca, El Coyolito, Guarumo, El Tempiscal, El Taburete, El Mamey, El Bambú, Batres, El Papayal, Chacha, de Arena y Palomar.
	Cañadas	San Pedro, La Cañada, Concharsia, La Huesera y Santa Cruz.
	Cañones	El Tihulote, Tihuapa, El Palmo, El Capullín, la Lagartere, La Conquista, El Brujo, El Rico, Las Lagunitas y La rompeta.
	Lagunas	El Carao y San Juan.
	Esteros	La Tirana.
	Esteros pertenecientes a la Bahía de Jiquilisco	Las Mesitas, del Zamorancitos, San Juancito, de Manume, Nicho Zapo, Sisiguayo, Enganche, de Cartón, El Flor y El Potrero.
	Canales pertenecientes a la Bahía de Jiquilisco	Del Cocodrilo, del Carbonal, de San Lázaro, Burillo, Los Lagartos y La Zunganera.

Municipio	Recurso Hídrico	Nombre
Jucuarán	Ríos	Grande de San Miguel, Iracantique, Gualchúa, Samuria, El Convento, La Ringlera, El Amatillo, Munguía y El Zapote.
	Quebradas	Potrero Grande, El Colorado, Polío, Tierra Agría, El Ojushtal, Los Zapote, La Chanchos, El Bajío, El Jiote, Las Avispas, el Emboque, La Chilosa, el Ojo de Agua o Chiripa, El Icacó, El Higuero, Piedra de Agua, agua Fría, el Tempisque, Chile de Agua, La Piragua, Hijuero Seco, Los Riños, La Pita, El Botoncillo, El Maraño, Casa de Teja, El Naranja, seca La Bocanita, El Chorro, El Mono, Pueblo Viejo, El Jocomical, Las Flores, La Bóveda, El Cojoyo de Loma Aislada, Cerro Azul, Agua Escondida, El Duende, El Zanjón, El Zúngano, El Cacao y El Jutal.
	Esteros	Sisimite, San José, El Camalote, Nana Chepa, Solórzano, El Arco y El Lodazal.
	Bocanas	La Molendera, La Chepona y La Bocanita.
	Canales de la Isla Samuria	Santa Rita y El Arco.
	Esteros de la Isla Samuria	El Espino.
Concepción Batres	Ríos	De Batres, Ereguayquín, El Jute, Grande de San Miguel, La Archila y Gualcha.
	Quebradas	Loma de Macho o San Rafael, El Tránsito, Saravia, La Palmera, El Claro, El Soto, El Coyol, Ceiba Hueca, La Barbona, El Cojoyo de Loma Aislada, El Hoyo, Rancho quemado, San Nicolás y La Joya.
	Esteros	El Desagüe, La Vigía y Sisimite.
	Cañones	Puerto Viejo.
	Canales	Santa Rita.
	Lagunas	Domínguez y El Chaparral (Laguna intermitente).
Puerto El Triunfo	Ríos	Chahuantique.
	Quebradas	El Quebracho.
	Canales	El Chile y el Pasadero.
	Cañadas	De San Juan.
	Esteros	El Zapote o Mancomado, La Majada, La Majadita, Tortuga, Los Títeres, La Garrobera, de Mapachín, El tigre, El Jobal, El Matasano, El Nance, Las Piedras, El Roque, La Venadona, La Ensenada, Los Zardos, Sereno y Corral de Mulas.
	Cañón de la Península de San Juan del Gozo	Cola de Mono.

Municipio	Recurso Hídrico	Nombre
	Canal de la Península de San Juan del Gozo	El Pasadero.
	Estero de la Península de San Juan del Gozo	Corral de Mulas.
	Bocana de la Península de San Juan del Gozo	El Bajón.
San Dionisio	Ríos	El Molino, Chiquito, San Lucas, Los Pocitos, el Marillo, San Francisco o Cucurrucú, El Eje, Zarco, Shurla y Tinto.
	Quebradas	La Pushunta.
	Canales	Los Lagartos, Dos Aguas, El Chile, el Entripadero, La Caramba y Solorzano.
	Esteros	San Dionisio, Puerto Grande, El Molino, El Matatón, El Bajón, Los Quemados, La Cruz, Puerto Parada, Los Trozos, Marta, Los Birriondos, El Guarumal, Rincón Grande, El Palomito, el Flor y Platanares.
	Cañones	De Las Isletas o de Las Tijeras y El Pasadero.
	Bocanas	El Bajón y La Chepona.
	Lagunas	Chirivisquera.

Anexo C: Densidad Poblacional y Población Urbana del Departamento de Usulután en el período del 12 al 27 de Mayo del 2007.

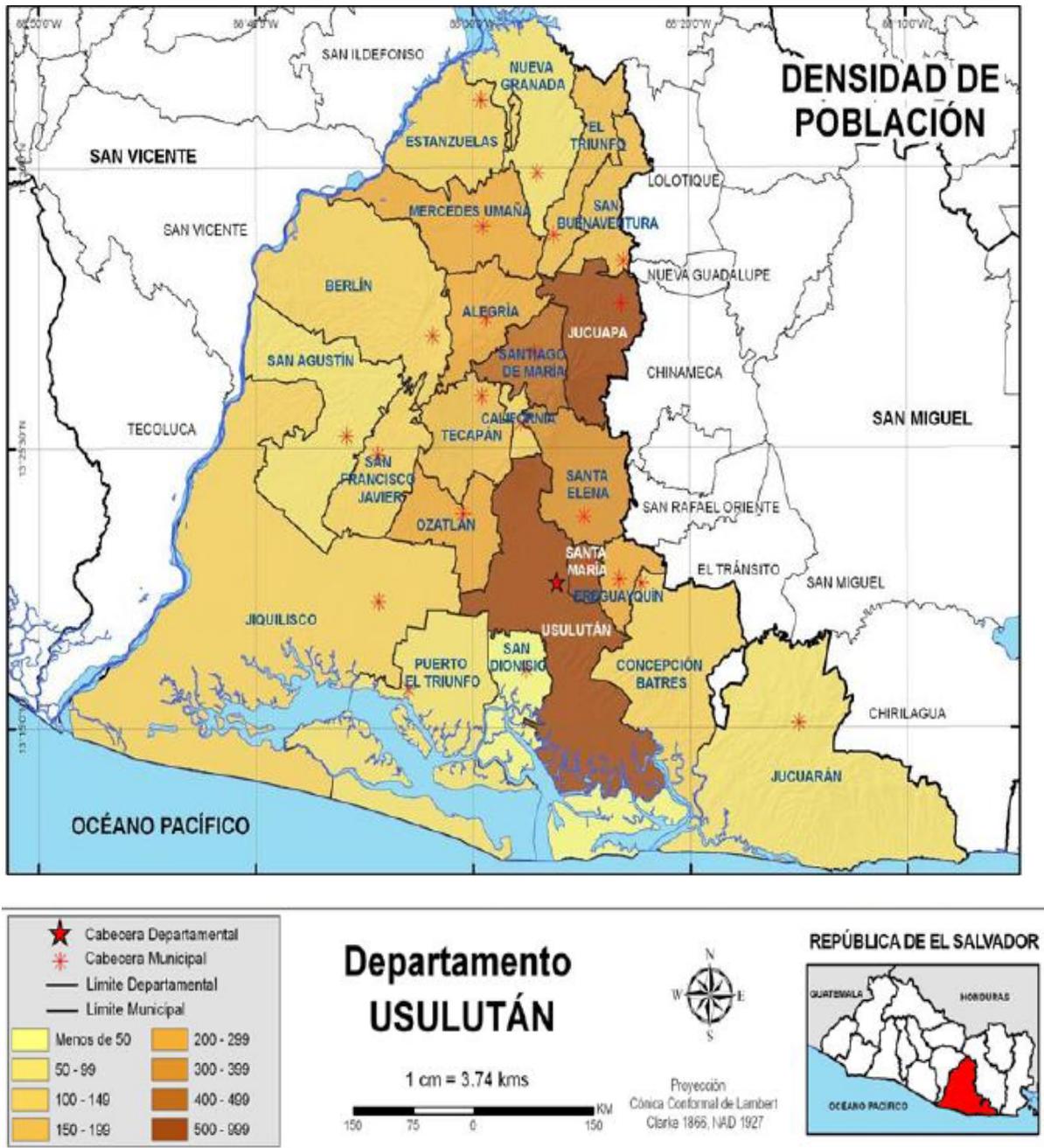
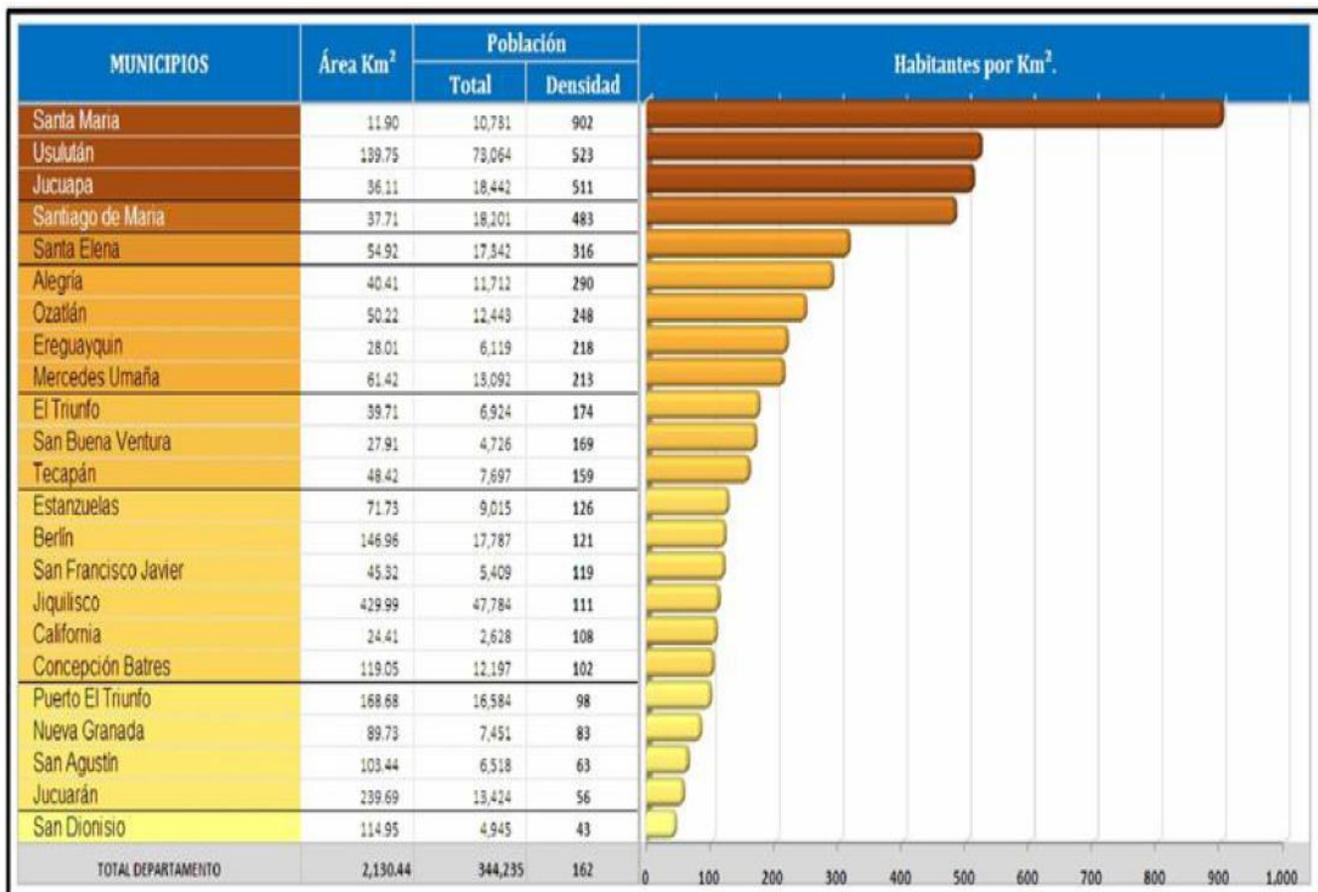


Figura C.1: Densidad Poblacional del Departamento de Usulután.

Cuadro C.1: Densidad Poblacional y Población Urbana del Departamento de Usulután.



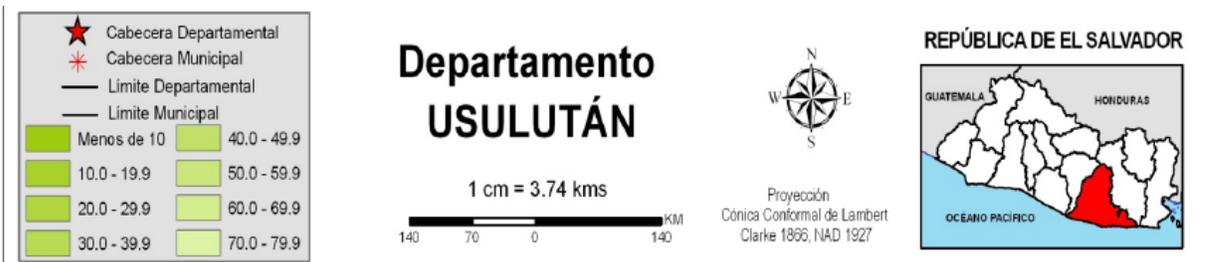
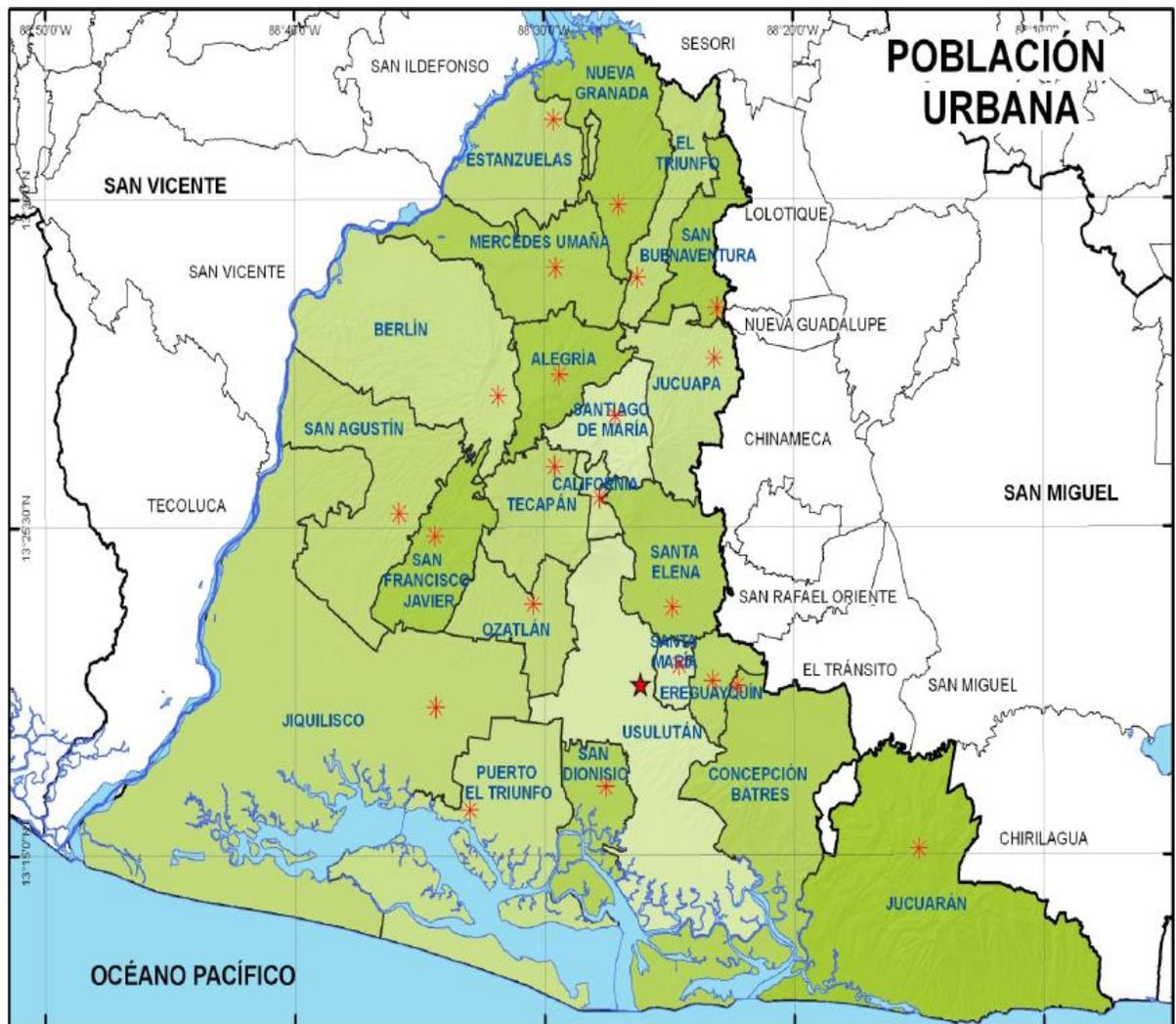


Figura C.2: Población Urbana del Departamento de Usulután

Cuadro C.2: Población Urbana y Rural del Departamento de Usulután

MUNICIPIOS	Población				Población por Área de Residencia
	Total	Urbana	Rural	% Urbana	
Santiago de María	18,201	14,339	3,862	78.8	
Santa María	10,731	8,196	2,535	76.4	
Usulután	73,064	51,496	21,568	70.5	
California	2,628	1,645	983	62.6	
Puerto El Triunfo	16,584	9,601	6,983	57.9	
Jucuapa	18,442	10,468	7,974	56.8	
Berlín	17,787	9,782	8,005	55.0	
San Agustín	6,518	3,125	3,393	47.9	
Tecapán	7,697	3,554	4,143	46.2	
El Triunfo	6,924	3,072	3,852	44.4	
Estanzuelas	9,015	3,873	5,142	43.0	
Jiquilisco	47,784	20,270	27,514	42.4	
Ozatlán	12,443	5,083	7,360	40.9	
Ereguayquín	6,119	1,920	4,199	31.4	
Santa Elena	17,342	5,184	12,158	29.9	
Concepción Baires	12,197	3,214	8,983	26.4	
San Dionisio	4,945	1,281	3,664	25.9	
Mercedes Umaña	13,092	3,105	9,987	23.7	
San Buena Ventura	4,726	939	3,787	19.9	
San Francisco Javier	5,409	1,000	4,409	18.5	
Nueva Granada	7,451	1,311	6,140	17.6	
Alegría	11,712	1,545	10,167	13.2	
Jucuarán	13,424	1,140	12,284	8.5	
TOTAL DEPARTAMENTO	344,235	165,143	179,092	48.0	

Anexo D: Mapa Ecológico, Sistemas de Zonas de Vida de Holdridge (J.Tosi y G.Harthorn, 1978), MARN 2004.



Anexo E: Equipo utilizado en el muestreo de aguas realizado en la Bahía de Jiquilisco.

Nombre del Equipo	Modelo	Uso	Calibración Requerida	Fotografía
Botella muestreadora de cierre horizontal.	Botella de Van Dorn	Investigación limnológica, recolección de muestras de agua en cuerpos de agua superficial y pozos excavados.	No requiere	
Muestreador de manga larga	Eurotubo	Recolección de muestras de agua superficial.	No requiere	
Medidor de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, salinidad, ORP y temperatura en agua.	Medidor Multiparámetro HACH - SenSION 156	Lectura de pH, conductividad eléctrica, oxígeno, salinidad, temperatura y orp. en aguas superficiales, subterráneas y de consumo	Sí requiere	
GPS	Marca Garmin, modelo eTrex Vista Cx	Sistema global de navegación por satélite, que permite determinar la posición de objetos, personas, etc.	No requiere	
Medidor de pH	pH Exstik. pH 100 EXTECH	Lectura de pH en aguas superficiales, subterráneas.	Sí requiere	

Nombre del Equipo	Modelo	Uso	Calibración Requerida	Fotografía
Medidor de conductividad eléctrica	Thermo Orion, modelo 4-Star	Lectura de conductividad eléctrica en aguas superficiales, subterráneas.	Sí requiere	
Medidor de temperatura ambiente	Termocupla Senso	Lee la temperatura ambiente de un lugar específico en °C o °F.	No requiere	
Cámara fotográfica	Cámara fotográfica Sony Cyber-Shot.	Toma de fotografías en sitios o lugares.	No requiere	
Hieleras	Hielera Mod. M5214C607R, Coleman.	Refrigeración y preservación de muestras	No requiere	

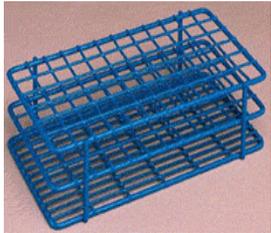
Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo F: Material utilizado en el muestreo de la Bahía de Jiquilisco y el laboratorio de calidad de aguas del MARN.

Materiales	Uso	Fotografía
Cristalería		
Agitadores de vidrio	Agitación de mezclas reactivas y como accesorio en el trasvasado de líquidos.	
Beakers	Preparación, disolución y calentamiento de soluciones directamente sobre rejillas o planchas de calentamiento. Se usa también para medir volúmenes aproximados.	
Embudos	Filtración por gravedad, trasvasado de líquidos y transferencia de sólidos.	
Erlenmeyers	Para técnicas de titulación y calentamiento de soluciones.	
Fascos para el análisis de DBO_5	Fascos de vidrio de 300ml esmerilados con tapón para sello de agua, utilizado en el análisis de DBO_5	

Materiales	Uso	Fotografía
Pipetas volumétricas	Para medición exacta de volúmenes en líquidos.	
Kitasato	Para hacer filtraciones al vacío, o también se utiliza como trampa de seguridad.	
Vidrios reloj	Para cubrir recipientes, transferir sólidos, evaporar líquidos.	
Desecador	Deseccación de sustancias y preservación de la humedad ambiente.	
Capsulas de porcelana	Calentamiento y evaporación de líquidos, fundición y cristalización de sólidos.	

Materiales	Uso	Fotografía
Balón aforado	Para medición de volúmenes exactos en muestras de aguas.	
Probetas	Medición de volúmenes con poca precisión, almacenamiento y transferencia de líquidos.	
Materiales en General		
Frasco Lavador	Utilizado en la preparación de mezclas y soluciones, y para limpieza de cristalería y electrodos de los equipos de campo.	
Micropipetas	Medición de volúmenes pequeños, hasta de 10ml como máximo.	
Espátulas	Se utiliza en la transferencia de sólidos para pesaje y para mezclas.	

Materiales	Uso	Fotografía
Fascos de plástico para transporte de muestras	Fascos de polietileno, para el transporte de muestras de aguas superficiales, subterráneas, de mar, etc.	
Gradillas	Sostiene y ordena pipetas con diferentes volúmenes.	
Embudos Buchner	Se utiliza en la filtración al vacío, para el análisis de sólidos suspendidos totales.	
Peras de seguridad	Sirven para succionar líquidos mediante el uso de pipetas volumétricas.	

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Anexo G: Manual del Medidor Multiparámetro Portátil Sension156, HACH.

(Traducción al español)

Sección 4: Modo de Operación de la Conductividad.

4.1 Opciones del Menú de Configuración de Conductividad.

La Tabla 5 describe las opciones disponibles en el menú de configuración de conductividad.

Tabla 5. Opciones de Configuración

Número de Configuración	Descripción de Configuración	Descripción de la Opción	Configuración Predeterminada
1	Tiempo	00:00 a 23:59	00:00
2	Fecha	01/01 a 12/31	01/01
3	Año	2000–2099	2000
4	Unidades de Temperatura	°C, °F	°C
5	Bloqueo de pantalla	Encendido: Icono de bloqueo Apagado: Icono de bloqueo y (Off) icono	Off
6	Factor de Corrección de Temperatura	NaCl no lineal o $\frac{[\text{valor numerico}]\%}{^{\circ}\text{C}}$	NaCl no lineal
7	Factor de Corrección TDS	NaCl no lineal o valor numérico para convertir $\mu\text{S/cm}$ a TDS	NaCl en el campo de unidades
8	Intervalo de auto impresión	Off, 10 sec., 30 sec., 1 min., 5 min., 20 min., 1 hr., 2 hrs., and 6 hrs.	Off
9	Selección de la Temperatura de Referencia (Icono de Termómetro)	20° C or 25° C	25° C
10	Corrección de Temperatura	Encendido (On), Apagado (Off) (Off) icono para apagar	On, Si la conductividad "en bruto" se desea, tal como con una taza de suelo, desactivar la corrección de temperatura.
11	NaCl o KCl estándares de calibración	Alterna NaCl, KCl	NaCl

✓ **Valor de Corrección de Temperatura:**

Permite la selección de una función lineal o no lineal para la corrección de temperatura. El coeficiente no lineal se ha determinado a partir de mediciones utilizando soluciones acuosas de NaCl. Para la mayoría de las

muestras de agua dulce, este es el mejor ajuste. Si se elige la función lineal, los valores de conductividad medidos son automáticamente corregidos a la temperatura basado en el coeficiente de temperatura especificada y la temperatura de referencia seleccionada. El valor de corrección de temperatura lineal para el medidor tiene un valor predeterminado de 2% por cada 1°C.

La conductividad de las muestras que contienen otras sales o iones puede cambiar a un ritmo diferente con la temperatura. Este ritmo depende de la temperatura de la solución, la concentración de iones, y la temperatura de referencia seleccionada, y se debe determinar experimentalmente. Una vez determinado, entrar en el valor de corrección de temperatura con esta opción de configuración.

La opción de corrección de temperatura debe estar encendido para que el medidor utilice un valor de corrección de temperatura (ver Sección 4.2).

La Tabla 6 muestra algunos coeficientes de temperatura típicos (porcentaje de cambio de conductividad por °C).

Tabla 6. Porcentaje de Cambio de Conductividad por °C

Solución	Percent/°C
Agua Ultra Pura	4.55
Sal (NaCl)	2.125
NaOH	1.72
Amoníaco Diluido	1.8810
HCl 10%	1.325
Acido Sulfúrico 5%	0.9698
Jarabe de Azúcar	5.64

✓ **Factor de Corrección TDS:**

Esta configuración permite al usuario elegir una conversión lineal o no lineal de la conductividad a TDS. Las mediciones de TDS utilizan las lecturas de la conductividad que son compensadas con la temperatura.

Cuando se elige la conversión lineal, el medidor utiliza la temperatura de referencia y la opción de corrección de temperatura para determinar la conductividad a la temperatura corregida. La conversión no lineal (NaCl) utiliza la función de corrección de temperatura no lineal y la temperatura de referencia de 25°C, independientemente de la configuración del factor de temperatura actual (configuración 6), para convertir lecturas de conductividad compensadas con la temperatura a lecturas TDS.

En el modo de lectura, el icono de TDS indica que el medidor está leyendo TDS. Si el icono de corrección también se muestra, el medidor está utilizando una conversión lineal. Si el icono de corrección no aparece, el medidor está utilizando la conversión predeterminada no lineal de NaCl.

✓ **Temperatura de Referencia:**

Los estándares de conductividad tienen típicamente una temperatura de referencia indicado en su envase. Al medir las soluciones que no están en la temperatura de referencia, el medidor se ajusta automáticamente a la lectura del valor de conductividad que se han medido si la muestra había estado en la temperatura de referencia. Las opciones de temperatura de referencia en el medidor son de 20 o 25°C. La configuración predeterminada de la temperatura de referencia es de 25 ° C.

4.2 Cómo Modificar las Opciones del Menú de Conductividad

Para acceder al menú de configuración de conductividad:

1. Encienda el medidor y pulse la tecla **CON**. Los iconos de las flechas que aparecen indican que las opciones adicionales están disponibles en el menú.
2. Pulse la tecla **SETUP**.
3. Use la flecha arriba y flecha abajo para desplazarse entre las opciones deseadas.

Para ajustar la hora, fecha, año, o unidades de temperatura, permanecerá en el modo de conductividad, pero siga las instrucciones de la Tabla 4 en la página 29. La Tabla 7 muestra cómo cambiar las opciones de configuración de otros.

Tabla 7. Cómo modificar las opciones del menú de conductividad

Configuración	Cómo llegar allí
Configuración 5 Bloqueo de la Pantalla	<ul style="list-style-type: none"> • En el modo de lectura de conductividad, pulse SETUP. • Pulse la flecha hacia arriba hasta el número de instalación 5. • Pulse ENTER para alternar la pantalla de bloqueo de apagado y encendido • Cuando la opción deseada se selecciona, pulse EXIT para volver al modo de lectura. • Cuando el bloqueo de pantalla, "Display Lock", está desactivada, el icono de bloqueo de pantalla y apagado se muestran. Cuando esta función está habilitada, sólo el icono de bloqueo de pantalla aparecerá.

	<p>Véase la sección 4.1 para más información sobre esta configuración.</p>
<p>Configuración 6 Temperatura Valor de Corrección</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En el modo de lectura de conductividad, pulse SETUP. • Pulse la flecha hacia arriba hasta el número de configuración 6. • Presione ENTRAR. • Para seleccionar la función no lineal, pulse la flecha hacia arriba o hacia abajo hasta que la pantalla muestre NaCl. Pulse ENTER para aceptar el ajuste. • Para seleccionar una conversión lineal, desplácese hasta que el coeficiente de corrección aparezca (por ejemplo 2.000%). • Introduzca el valor deseado con el teclado numérico. • Presione ENTER para aceptar el valor. Si un error de entrada del número se produce, empezar de nuevo pulsando CE. • Nota: Si el factor de compensación se establece en 0,00%, las lecturas de conductividad no serán corregidas para la temperatura. • Cuando la opción deseada se selecciona, pulse EXIT para volver al modo de lectura. <p>Véase la sección 4.1 para más información sobre esta configuración.</p>
<p>Configuración 7 Factor de Corrección TDS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En el modo de lectura de conductividad, pulse SETUP. • Pulse la flecha hacia arriba hasta el número de configuración 7. • Presione ENTER. • Pulse la flecha hacia arriba o hacia abajo para cambiar entre las funciones de corrección lineal y no lineal. • Para elegir una conversión no lineal, desplácese hasta que el parpadeo de NaCl aparece, a continuación, presione ENTER. • Para seleccionar una conversión lineal, desplácese hasta que el coeficiente de conversión aparezca. Use el teclado numérico para ajustar el valor del coeficiente, a continuación, presione ENTER. Si un error se produce en la introducción de números, comenzar de nuevo pulsando CE. • Cuando la opción deseada se selecciona, pulse EXIT para volver al modo de lectura. <p>Véase la sección 4.1 para más información sobre esta configuración.</p>
<p>Configuración 8 Intervalo de Auto Impresión</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En el modo de lectura de conductividad, pulse SETUP. • Pulse la flecha hacia arriba hasta el número de instalación 8. • Presione ENTRAR. • Cambiar el intervalo de impresión pulsando la flecha arriba y flecha abajo. • Presione ENTER para aceptar el intervalo de impresión.
<p>Configuración 9 Temperatura de Referencia</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En el modo de lectura de conductividad, pulse SETUP. • Pulse la flecha hacia arriba hasta el número de configuración 9. • Pulse ENTER para conmutar entre los 20°C y 25°C. El valor predeterminado es de 25 ° C. • Pulse EXIT para volver al modo de lectura.

	Véase la sección 4.1 para más información sobre esta configuración.
Configuración 10 Encendido y Apagado de la Corrección de Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • En el modo de lectura de conductividad, pulse SETUP. • Pulse la flecha hacia arriba hasta el número de configuración 10. • Pulse ENTER para conmutar entre el apagado (off) y el encendido (on). • Pulse EXIT para volver al modo de lectura. <p>Véase la sección 4.1 para más información sobre esta configuración.</p>
Configuración 11 Selección del Estándar de Calibración NaCl o KCl	<ul style="list-style-type: none"> • En el modo de lectura de conductividad, pulse SETUP. • Pulse la flecha hacia arriba hasta el número de configuración 11. • Pulse ENTER para conmutar entre los estándares NaCl y KCl. <p>Nota: Intercambiar los estándares de conductividad cambia los coeficientes de corrección de temperatura solamente para la calibración. La elección del estándar de calibración no tiene ningún efecto sobre el coeficiente de corrección de la temperatura aplicada durante la lectura de muestras.</p>

4.3 Medición de la Conductividad

Para medir la conductividad con el medidor *sension156*, presionar la tecla **CON/TDS/SAL** hasta que el icono de conductividad aparezca en la esquina inferior izquierda de la pantalla. (Los iconos TDS y Sal no aparecen.)

El instrumento selecciona automáticamente el rango y las unidades apropiadas y se mostrará el valor de conductividad de la muestra que se está midiendo.

Para conductividad, coloque la sonda en la muestra y asegúrese de que la ranura en el extremo de la sonda está totalmente sumergida. Agitar la muestra con la sonda durante 5-10 segundos para eliminar las burbujas que puedan estar atrapadas en la ranura.

La Tabla 8 muestra los rangos de conductividad de soluciones comunes.

Tabla 8. Rango de Conductividad de Soluciones Acuosas Comunes

Tipo de Muestra	Rango de Conductividad
Presión de alta de agua de caldera	<0.1 $\mu\text{S/cm}$ to 0.2 $\mu\text{S/cm}$
Agua desionizada	1 $\mu\text{S/cm}$ to 80 $\mu\text{S/cm}$
Agua potable	100 $\mu\text{S/cm}$ to 1 mS/cm
Agua Residual	85 $\mu\text{S/cm}$ to 9 mS/cm
Agua Superficial	100 $\mu\text{S/cm}$ to 10 mS/cm
Agua de Proceso Industrial	8 mS/cm to 130 mS/cm
Ácidos Concentrados y Colorantes	85 mS/cm to >1000 mS/cm

4.3.1 Niveles Bajos de Medición de la Conductividad.

Cuando la temperatura no es corregida, la conductividad es inferior a 1 mS/cm, el medidor utiliza automáticamente los coeficientes de corrección de temperatura para el agua pura para la temperatura de referencia seleccionada (derivado de la norma ASTM método D1125-91, página 253, 1993).

Para mayor precisión, Hach recomienda el uso de la Cámara de Baja Fuerza Iónica para evitar gases en la atmósfera provenientes del cambio del nivel de conductividad.

1. Asegúrese de que el medidor está usando la corrección de temperatura no lineal de NaCl (véase la sección 4.2 en la página 38).
2. Poner a cero la sonda seca pulsando **READ** y **CAL** al mismo tiempo. Inserte la sonda de conductividad dentro de la cámara de LIS. Iniciar el flujo de la muestra dentro de la cámara de LIS.
3. Cuando el valor de la conductividad se estabiliza, almacenar o grabarla.

Nota: Si la conductividad de la muestra a la temperatura no corregida aumenta por encima de 1 μ S/cm, el medidor utilizará los coeficientes de corrección de temperatura para NaCl. Esto puede causar un salto notable en la lectura de conductividad.

4.4 Medición de Sólidos Disueltos Totales

Para medir TDS con el medidor *sension156*, presionar la tecla **CON/TDS/SAL** hasta que el icono TDS aparezca en la esquina inferior izquierda de la pantalla. El instrumento mostrará el valor de TDS para la medición de la conductividad que se muestra actualmente.

El método estándar de la determinación de TDS es para evaporar la muestra a sequedad a 180°C, a continuación pesar el residuo.

Alternativamente, calcular la concentración de cloruro de sodio que tiene la misma conductividad que la muestra a la misma temperatura.

El medidor *sension156* informa el valor de una muestra de TDS en mg/L de cloruro de sodio mediante la comparación de la conductividad de la muestra y la temperatura con los datos almacenados en la memoria del medidor. Los datos se obtuvieron a partir de procedimientos empíricos que utilizan soluciones de cloruro de sodio.

4.5 Medición de la Salinidad

Para medir la salinidad con el medidor sension156, presionar la tecla CON/TDS/SAL hasta que el icono SAL aparezca en la esquina inferior izquierda de la pantalla. El instrumento mostrará el valor de salinidad para la muestra que se está midiendo.

Salinidad, una medida de la masa de sales disueltas en una masa dada de solución, se utiliza para describir aguas de mar, naturales e industriales. La salinidad es una escala relativa basada sobre una solución de cloruro de potasio (KCl). Un valor de salinidad de 35 es equivalente a una solución de KCl que contiene 32.4356 g de KCl en 1 kg de solución a 15°C. La salinidad se mide en ‰ (ppt-partes por mil). El medidor calcula la salinidad basada sobre la Extended Practical Salinity Scale de 1978, como se indica en la 17ª edición del Standard Methods, 25200 B. El rango de aplicación es 0 a 42 ‰ y -2 a 35°C.

Si usted tiene una sonda OD y planea utilizar medidas de salinidad para ajustar las mediciones de OD, siga los siguientes pasos:

1. En el modo Salinidad, pulse la flecha hacia arriba. El instrumento preguntará si desea usar la reciente medición como el factor de corrección de la salinidad para las mediciones de OD.
2. Presione ENTER para aceptar o EXIT para cancelar. Si selecciona ENTER, Configuración de 7 en el modo OD cambia acordemente.

Sección 5: Modo de Operación del Oxígeno Disuelto

5.1 Opciones del Menú de Configuración del Oxígeno Disuelto

La Tabla 10 describe las opciones disponibles en el menú de configuración de oxígeno disuelto.

Número de Configuración	Descripción de Configuración	Descripción de la Opción	Configuración Predeterminada
1	Tiempo	00:00 to 23:59	00:00
2	Fecha	01/01 to 12/31	01/01
3	Año	2000–2099	2000
4	Unidades de Temperatura	°C, °F	°C
5	Bloqueo de pantalla	Encendido (On): Icono de bloqueo Apagado (Off): Icono de bloqueo y (Off) icono	Off
6	Resolución	0.0, 0.00	0.00
7	Factor de Salinidad	0–40	0
8	Intervalo de auto impresión	Off, 10 sec., 30 sec., 1 min., 5 min., 20 min., 1 hr., 2 hrs., and 6 hrs.	Off

- Factor de salinidad:** Esta función ajusta la visualización de la concentración de oxígeno disuelto en mg/L sobre la base de la salinidad de la muestra. Cuando el icono **Sal** se muestra durante el modo de lectura, un cálculo de corrección salinidad se aplica a la concentración de oxígeno disuelto en mg/L. La concentración de oxígeno disuelto en % de saturación es la relación de la concentración mostrada en mg/l a la concentración de equilibrio de oxígeno disuelto a la temperatura y salinidad de la muestra más la presión barométrica ambiente.

5.2 Cómo Cambiar las Opciones del Menú de Oxígeno Disuelto

Para acceder al menú de configuración de oxígeno disuelto:

- Encienda el medidor y pulse la tecla **DO**. Los iconos de las flechas que aparecen indican que las opciones adicionales están disponibles en el menú.
- Pulse la tecla **SETUP**.

- Use la flecha hacia arriba y la flecha hacia abajo para desplazarse entre las opciones deseadas.

Para ajustar el tiempo, fecha, año, o las unidades de temperatura, siga las instrucciones de la *Tabla 4 en la página 29*. La *Tabla 11* muestra cómo cambiar las otras opciones de configuración.

Tabla 11. Cómo Cambiar las Opciones del Menú de Oxígeno Disuelto

Configuración	Cómo llegar allí
Configuración 5 Bloqueo de Pantalla	<ul style="list-style-type: none"> En el modo de lectura de Oxígeno Disuelto, pulse SETUP. Pulse la flecha hacia arriba hasta que el número de instalación sea de 5. Pulse ENTER para conmutar la pantalla entre bloqueo y desbloqueo. Cuando la opción deseada se selecciona, pulse EXIT para volver al modo de lectura. <p>Vea la sección 5.1 para más información sobre esta configuración.</p>
Configuración 6 Medición de la Resolución	<ul style="list-style-type: none"> En el modo de lectura de Oxígeno Disuelto, pulse SETUP. Pulse la flecha hacia arriba hasta que el número de configuración sea de 6. Pulse ENTER para conmutar entre 0.0 y 0.00 mg/L. Cuando la opción deseada se selecciona, pulse EXIT para volver al modo de lectura.
Configuración 7 Factor de Salinidad	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la salinidad de la muestra. Las unidades de salinidad son partes por mil (0/00). En el modo de lectura de oxígeno disuelto, pulse SETUP. Pulse la flecha hacia arriba hasta que el número de configuración sea de 7. Presione ENTRAR. Utilice las teclas numéricas para introducir un factor de la salinidad que va de 0 a 42. Presione ENTER para aceptar el valor, o EXIT para dejar el valor sin cambios. Cuando el valor deseado se acepta, pulse EXIT para volver al modo de lectura. <p>Vea la sección 5.1 para más información sobre este modo de configuración.</p>
Configuración 8 Intervalo de Auto Impresión	<ul style="list-style-type: none"> En el modo de lectura de Oxígeno Disuelto, pulse SETUP. Pulse la flecha hacia arriba hasta que el número de instalación sea de 8. Presione ENTER. Cambiar el intervalo de impresión pulsando la flecha arriba y flecha abajo. Presione ENTER para aceptar el intervalo de impresión. Pulse la tecla EXIT para regresar al modo de lectura. <p>Vea la sección 5.1 para más información sobre esta configuración</p>

5.3 Calibración de Oxígeno Disuelto

El medidor de Oxígeno Disuelto sension156 debe ser calibrado antes de su uso. Antes de la calibración, la sonda debe ser preparada y estabilizada. Para las mediciones por debajo de 1 mg/L de OD, la sonda debe ser puesta a cero antes de la calibración. Ver Sección 5.4.2 Cero de la Sonda.

La calibración puede realizarse de tres maneras:

- La calibración puede realizarse en un ambiente de aire saturado de agua. Ver Sección 5.4.3.

○

- La calibración puede realizarse usando una muestra de agua que tiene una concentración conocida de oxígeno disuelto en mg/L. La concentración de la muestra se determina mediante otra técnica, tales como una titulación de Winkler. Ver Sección 5.4.4.

○

- La calibración puede llevarse a cabo mediante el establecimiento de una muestra de agua al 100% de saturación. Ver Sección 5.4.5.

5.3.1 Polarización de la Sonda

Las sondas Hach de oxígeno disuelto son continuamente polarizadas cuando están conectadas al instrumento. Una lectura estable no será vista por 30-50 minutos, cuando el electrolito de la sonda es nuevo o cuando la sonda ha sido desconectada por más de una hora. Conexiones interrumpidas de menos de una hora requerirán de 5-25 minutos antes de que una lectura estable sea observada.

Con la sonda en la cámara de calibración y almacenamiento, observar la concentración de oxígeno disuelto en mg/L después de que la sonda ha sido polarizada por el período de tiempo apropiado. La calibración puede llevarse a cabo cuando la pantalla es estable durante varios minutos.

5.4 Medición de Oxígeno Disuelto

5.4.1 Operación General de la Sonda

Siga los procedimientos que se presentan a continuación para obtener el máximo rendimiento y precisión de su sistema sension156 OD:

- Utilice la sonda de OD para aplicaciones acuosas solamente.
- Preste especial atención al manejo y almacenamiento de la tapa del módulo de la membrana de oxígeno.
- No permita que el área de detección de la sonda de OD (la tapa del depósito) se seque.
- Llevar a cabo el procedimiento de calibración en el comienzo de cada día para un máximo rendimiento. Vuelva a calibrar la sonda de OD cada dos horas para obtener la máxima precisión.
- La muestra debe tener una alta velocidad de flujo o debe ser agitada rápidamente para obtener resultados exactos.
- Asegúrese de que todas las burbujas de aire atrapadas en la punta de la sonda se desprendan antes de tomar una lectura.
- Es importante tener la sonda de OD a una temperatura uniforme. No toque el botón metálico al lado de la sonda cuando se sostiene. El botón es un termistor que detecta la temperatura. Una calibración incorrecta resultará si la temperatura del termistor es diferente de la membrana de la sonda.

5.4.2 Medición de Oxígeno Disuelto

Después de que la sonda este apropiadamente estabilizada, químicamente a cero (sólo es necesario para las mediciones por debajo de 1 mg/L, donde se requiere alta precisión), y calibrada, realizar mediciones de la siguiente manera:

1. Agregue el peso de ensamblado a la sonda, si es necesario (3 ó 15 m de versiones de cable solamente).
2. Si la salinidad de la muestra se ha medido utilizando una sonda de conductividad, introduzca el valor en la configuración 7. (También puede actualizar esta configuración desde el modo de lectura de la salinidad presionando la flecha hacia arriba. Vea la sección 4.6 en la página 44.)
3. Insertar la sonda en la muestra a la profundidad deseada. La sonda debe ser lo suficientemente profunda para cubrir el termistor (botón metálico) situado en el lado de la sonda.
4. Agitar la sonda en la muestra para eliminar burbujas de aire de la zona de detección de la punta de la sonda.

5. Agitar la muestra vigorosamente con la sonda o utilizar un soporte de agitación y una barra de agitación. Al medir los cuerpos de aguaprofundos, crear un flujo suficiente a través de la punta de la sonda tirando del cable para mover la sonda hacia arriba y hacia abajo. Cuando se utiliza un soporte de agitación y barra de agitación magnética, aumentar la velocidad de la barra de agitación hasta que el valor mostrado ya no aumenta con la velocidad de agitación.
6. Cuando la lectura del medidor se estabiliza, grabar o almacenar el valor en la memoria del medidor.
7. Pulse la tecla **DO%** en el teclado para cambiar la visualización de la concentración en mg/l a % de saturación.
8. Nota: El % de saturación mostrado se basa en unamedición calculada para la concentración de equilibrio de oxígeno disuelto. El cálculo utiliza la temperatura de la muestra, salinidad, presión barométrica, y mediciones de en valores mg/l. Cambiando la entrada en la configuración 7 cambiará mg/L o% de saturación.

5.5 Factores de Corrección de Salinidad

Utilice los valores de la Tabla 12, si usted no tiene una sonda de conductividad. Utilice un medidor de conductividad para obtener la conductividad en mS/cm a la temperatura de referencia (20°C), luego utilice la Tabla 12 para estimar el factor de corrección de la salinidad (en ppt) al número entero más próximo. Introduzca el valor de la salinidad de la Tabla 12 en el medidor por la función de configuración en la *Sección 5.2* de la página 49.

Esta tabla se calculó hasta la conductividad de 54 mS/cm de las Tablas Internacionales Oceanográficas.

Tabla 12. Factores de Corrección de Salinidad

Cnductividad en mS/cm	Valor de Salinidad	Cnductividad en mS/cm	Valor de Salinidad	Cnductividad en mS/cm	Valor de Salinidad
5	3	20	13	35	25
6	4	21	14	36	25
7	4	22	15	37	26
8	5	23	15	38	27
9	6	24	16	39	28
10	6	25	17	40	29
11	7	26	18	42	30

Cnductividad en mS/cm	Valor de Salinidad	Cnductividad en mS/cm	Valor de Salinidad	Cnductividad en mS/cm	Valor de Salinidad
12	8	27	18	44	32
13	8	28	19	46	33
14	9	29	20	48	35
15	10	30	21	50	37
16	10	31	22	52	38
17	11	32	22	54	40
18	12	33	23	-	-
19	13	34	24	-	-

*Salinidad determinada por la conductividad a 20°C.

Anexo H: Etiquetas para Frascos de Muestreo de Agua Salada.

Nombre y Logo de la Institución/Agencia	No de Muestreo _____ Fecha _____ Hora _____
Región Costera _____	
Clasificación del cuerpo de agua _____	
Nombre del cuerpo de agua _____	
Código del punto de muestreo _____	
Tipo de muestra: Simple () Compuesta ()	
Nombre del muestreador _____	
PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA	PRESERVANTE
Temp. Muestra _____	Acido sulfúrico ()
Temp. Ambiente _____	Dióxido de carbono ()
Conductividad _____	Azida de sodio ()
Oxígeno Disuelto _____	Sulfato Manganoso ()
Salinidad _____	a 4°C ()
Turbidez _____	Otros _____
TDS _____	_____
pH _____	_____
Análisis solicitado: _____ _____	

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Anexo I: Ejemplo de Cadena de Custodia para Muestras.

Logo		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR											
		CADENA DE CUSTORIA DE LA MUESTRA											
		Fecha: Responsable:											
No.	Estación	Código de la muestra	Hora	Coordenadas Geográficas		Parámetros							
				N	W	pH	T° _{amb} (°C)	T° _m (°C)	OD (mg/L)	% Sat.	Conductividad Eléctrica	TDS	Salinidad

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Anexo J: Equipo utilizado en el laboratorio de calidad de aguas del MARN.

Nombre del Equipo	Modelo	Uso	Calibración Requerida	Fotografía
Balanza Analítica	Marca Ohaus, modelo Adventurer Pro	Medición de peso en gramos y miligramos.	Sí requiere	
Incubadora para DBO termostáticamente a 20 +/- 1 °C	Marca Precision	Incubadora para DBO con temperatura controlada.	No requiere	
Estufa	Marca CENCO	Sistema de calentamiento unitario o local de muestras.	No requiere	
Hot-plate-agitador	Marca Thermolyne modelo Cimarec 2	Agitador magnético y calentador de muestras.	No requiere	
Desmineralizador de agua	Marca Barnstead, modelo EasyPure	Unidad de purificación de aguas compacta para laboratorios.	Sí requiere	
Medidor de pH	Marca Orion modelo 720 A+.	Lectura de pH en muestras de aguas superficiales, subterráneas.	Sí requiere	

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Anexo K: Hojas de Seguridad de los Reactivos de Validación

K.1. RESUMEN DE DATOS DE SEGURIDAD: CLORURO DE POTASIO

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA

Nombre:	Cloruro de Potasio Solución 3M
Sinónimo:	No Aplica
Formula Química:	KCl

N	SALUD	1
F	INCENDIO	0
P	REACTIVIDAD	0
A	ESPECÍFICO	

2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

2.1 Salud:

Inhalación: La inhalación de altas concentraciones de polvo puede causar irritación nasal o pulmonar.	Ingestión: Grandes cantidades pueden producir irritación gastrointestinal y vómitos.
Contacto con la piel: El contacto puede causar irritación o sarpullido, especialmente si la piel está húmeda.	Contacto con los ojos: El KCl es un irritante ocular moderado. Puede ocurrir enrojecimiento, lagrimeo y posible abrasión.

2.2 Medio ambiente

Aire: No se encontró información	Agua: No se encontró información
Suelo: No se encontró información	Flora y Fauna: No se encontró información

3. PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Trasladar a la persona al aire libre.	Ingestión: Por ingestión de grandes cantidades: En caso de malestar, pedir atención médica.
Contacto con la piel: Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas.	Contacto con los ojos: Lavarse los ojos inmediatamente con abundante agua, por lo menos 15 minutos.

4. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Protección para la Piel: Usen guantes protectores y vestimenta limpia para cubrir cuerpos.	Otro tipo de protección: Ninguno establecido.
Protección Respiratoria: Utilizar mascarillas para polvo fino.	Protección para Ojos: Anteojos de seguridad. Mantener en el área de trabajo una instalación destinada para el lavado.

5. MANIPULACIÓN E INCOMPATIBILIDAD

Evite se exponga a óxidos del metal contenido y halógenos, es incompatible con Trifluoruro de bromo, permanganato de potasio y ácido sulfúrico.

6. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medio extintor : CO₂ Niebla de agua Espuma: PQS: Otros:

No es considerado un producto explosivo. En el evento de un fuego, vestidos protectores completos y aparato respiratorio autónomo con mascarilla completa operando en la demanda de presión u otro modo de presión positiva.

K.2. RESUMEN DE DATOS DE SEGURIDAD: GLUCOSA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA

Nombre:	Glucosa Anhidra
Sinónimo:	Azúcar, Dextrosa, D-Glucopiranososa.
Formula Química:	C6H12O6

N	SALUD	1
F	INCENDIO	0
P	REACTIVIDAD	0
A	ESPECÍFICO	

2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

2.1 Salud:

Inhalación: No está clasificado como sustancia peligrosa.	Ingestión: No está clasificado como sustancia peligrosa.
Contacto con la piel: No está clasificado como sustancia peligrosa.	Contacto con los ojos: No está clasificado como sustancia peligrosa.

2.2 Medio ambiente

Aire: Producto Biodegradable.	Agua: Producto Biodegradable.
Suelo: Producto Biodegradable.	Flora y Fauna: Producto Biodegradable.

3. PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Ir al aire fresco.	Ingestión: En caso de malestar, pedir atención médica.
Contacto con la piel: No se encontró información.	Contacto con los ojos: Lavar con agua abundante manteniendo los párpados abiertos.

4. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Protección para la Piel: Usen guantes protectores y vestimenta limpia para cubrir cuerpos.	Otro tipo de protección: Ninguno establecido.
Protección Respiratoria: Ventilación adecuada.	Protección para Ojos: Anteojos de seguridad. Mantener en el área de trabajo una instalación destinada para el lavado.

5. MANIPULACIÓN E INCOMPATIBILIDAD

Sin indicaciones particulares. Recipientes bien cerrados, ambiente seco, y temperatura ambiente.
Evitarse los oxidantes fuertes, halógenos y Nitritos.

6. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medio extintor : CO₂ Niebla de agua Espuma: PQS: Otros:

Combustible, mantener alejado de fuentes de ignición.

K.3. RESUMEN DE DATOS DE SEGURIDAD: ÁCIDO GLUTÁMICO

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA

Nombre:	Ácido Glutámico.
Sinónimo:	Ácido 1-aminopropano-1,3-dicarboxílico, Ácido aminopirotartárico.
Formula Química:	C ₅ H ₉ NO ₄

N	SALUD	0
F	INCENDIO	0
P	REACTIVIDAD	0
A	ESPECÍFICO	

2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

2.1 Salud:

Inhalación: No se esperan efectos adversos a la salud por la inhalación	Ingestión: Dosis altas pueden causar malestar gastrointestinal.
Contacto con la piel: No se esperan efectos adversos.	Contacto con los ojos: No se esperan efectos adversos pero los polvos pueden causar irritación mecánica.

2.2 Medio ambiente

Aire: No se encontró información	Agua: No se encontró información
Suelo: No se encontró información	Flora y Fauna: No se encontró información

3. PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Coloque la persona al aire fresco. Busque atención médica en caso de cualquier dificultad respiratoria.	Ingestión: Si se ingieren grandes cantidades, dé a tomar agua y busque consejo médico.
Contacto con la piel: Lave el área expuesta con jabón y agua. Obtenga asistencia médica si se desarrolla alguna irritación.	Contacto con los ojos: Lave a fondo con agua corriente. Obtenga asistencia médica si se desarrolla alguna irritación.

4. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Protección para la Piel: Usen guantes protectores y vestimenta limpia para cubrir cuerpos.	Otro tipo de protección: Ninguno establecido.
Protección Respiratoria: No se espera requerir uso de respirador personal.	Protección para Ojos: Anteojos de seguridad.

5. MANIPULACIÓN E INCOMPATIBILIDAD

Evite se exponga innecesariamente a toda sustancia química

6. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medio extintor : CO₂ Niebla de agua Espuma: PQS: Otros:

Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendios: Al igual que con la mayoría de los sólidos orgánicos, es posible que se produzca incendio a temperaturas elevadas o por contacto con una fuente de encendido.

Anexo L: Análisis de Laboratorio para la Obtención del ICA en La Bahía De Jiquilisco.

L.1. Sólidos Suspendidos Totales para Agua de Salada, Método Gravimétrico.

Principio

Una muestra bien mezclada es filtrada a través de un filtro estándar de fibra de vidrio previamente pesado, y el residuo retenido sobre el filtro es secado hasta peso constante a 103 - 105 °C. El incremento en el peso del filtro representa a los sólidos suspendidos totales. Si el material suspendido bloquea el filtro y prolonga la filtración, la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos puede proveer un estimado del total de sólidos suspendidos.

Equipo y Materiales

- Bomba de vacío, para realizar la succión.
- Aparato de filtración, que incluye un soporte para SS y un kitasato.
- Desecador, con un material desecante conteniendo un indicador de color que muestre la medida de contaminación o un instrumento indicador.
- Estufa, para operar entre los 103-105°C.
- Balanza analítica, con capacidad de 0.1 mg.
- Vidrio reloj para pesar.
- Filtro de microfibra de vidrio de 47 mm.
- Probetas de 100 ml.
- Bandejas de metal.
- Pinza para remover filtros.
- Plumón de tinta indeleble.

Reactivos

- Agua desmineralizada.

Procedimiento.

a) Selección del tamaño del filtro.

Para muestras no homogéneas, usar un filtro grande para permitir la filtración de una muestra representativa. El diámetro recomendado para el filtro es de 47 mm en este caso se utilizó un filtro de microfibra de vidrio marca ALBET.

b) Preparación del disco de filtro de fibra de vidrio.

- Insertar un disco en el aparato de filtración, aplicar vacío y lavar el disco con tres porciones de 20 ml de agua desmineralizada.
- Continuar la succión para remover toda traza de agua, y descartar el lavado. El material filtrado que queda adherido a las paredes del recipiente debe de ser añadido al filtro para evitar errores.
- Remover el filtro del aparato de filtración y transferirlo a un vidrio reloj previamente enumerado.
- Realizar este procedimiento para cada filtro.
- Colocar los vidrios reloj en una bandeja de metal. Secar en un horno a 103 - 105°C por 30min.
- Enfriar en desecador para balancear la temperatura y pesar.

c) Análisis de muestras.

- Ensamblar el aparato de filtración y comenzar la succión.
- Humedecer un filtro con un pequeño volumen de agua desmineralizada para adherirlo.
- Agitar la muestra y medir 100 ml en una probeta graduada.
- Comenzar la succión colocando tres porciones de la muestra sobre el filtro de fibra de vidrio adherido.
- Luego lavar con tres volúmenes sucesivos de 100 ml de agua desmineralizada, permitiendo el drenaje completo entre el lavado, y continuar la succión cerca de 3 min. después que la filtración ha sido completada.
- Muestras con altos sólidos disueltos pueden requerir lavado adicional.
- Remover cuidadosamente el filtro del aparato de filtración con una pinza y transferirlo a un vidrio reloj pesado y enumerado previamente.
- Repetir los pasos anteriores para cada muestra por duplicado y colocar todos los vidrios reloj es una bandeja de metal.
- Colocar la bandeja en la estufa y secar por un lapso de 1 hora a 103 - 105°C, enfriar en un desecador para balancear la temperatura y pesar nuevamente.

- Repetir el ciclo de secado, enfriamiento, desecación, y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta un cambio no menor de peso del 4% del peso anterior ó 0.5 mg, cualquiera de los cuales que sea menor.

Interferencias

Excluir grandes partículas flotantes o aglomerados sumergidos de material no homogéneo de la muestra si está determinado que su inclusión no se desea en el resultado final.

Debido a que excesivos residuos sobre el filtro pueden formar un entrapamiento de agua, limitar el tamaño de la muestra a proporciones de residuo no mayores de 200 mg. Para muestras altas en sólidos disueltos lavar completamente el filtro para garantizar la remoción de todo el material disuelto.

Una filtración por tiempo prolongado resultado del bloqueo del filtro, puede producir altos resultados debido al incremento de materiales coloidales capturados sobre el filtro bloqueado.

Cálculos

$$mg \text{ totales de solidos suspendidos} / L = \frac{(A - B) \times 1000000}{ml \text{ de muestra}}$$

Donde:

A = peso del filtro + residuo seco, g

B = peso del filtro, g

Precisión

La desviación estándar es de 5.2 mg/L (coeficiente de variación de 33 %) en 15 mg/L (10%) en 242 mg/L, y 13 mg/L (0.76 %) en 1,707 mg/L en estudios para dos análisis de cuatro sets de cada 10 determinaciones.

L.2. Sólidos Sedimentables para Agua de Salada, Método Volumétrico.

Principio

Los sólidos sedimentables en aguas superficiales y salinas, pueden ser determinados y reportados en cualquier de las siguientes unidades volumen (ml/L) o peso (mg/L).

Equipo y Materiales

Las pruebas volumétricas requieren solamente de un cono Imhoff para cada muestra y un agitador de vidrio.

Procedimiento.

- Llenar un cono Imhoff a la marca de 1L con muestra bien mezclada.
- Sedimentar por 45 minutos, agitar suavemente cerca de la orilla del cono con un agitador de vidrio o por rotación.
- Sedimentar por otros 15 minutos y anotar el volumen de sólidos sedimentables en el cono como ml/L.
- Si la materia sedimentable contiene espacios de líquido a lo largo de las partículas sedimentables, estimar el volumen de estas y restarlo del volumen de sólidos sedimentables.
- El bajo límite práctico de medida depende de la composición de la muestra y generalmente está en el rango de 0.1 a 1.0 ml/L. Usualmente no se requieren duplicados.

Cálculos.

$$\text{mg sólidos sedimentables / L} = (\text{mg total de sólidos suspendidos / L}) \\ - (\text{mg total de sólidos no sedimentables / L})$$

Precisión

Los datos de precisión no están disponibles en la bibliografía consultada.

L.3. Oxígeno Disuelto para Agua de Salada, Método de Winkler.

Principio.

El Método yodométrico es el Método mas preciso y confiable de los análisis titulométricos para la determinación de OD. Está basado en la adición de una solución de Manganeso divalente, seguida de la adición de un álcali fuerte a la muestra en una botella de vidrio tapada. El Oxígeno Disuelto oxida rápidamente una cantidad equivalente del precipitado de hidróxido manganoso divalente disperso a un hidróxido con estado de valencia mayor. En presencia de iones yoduro en una solución ácida, el Manganeso oxidado se revierte al estado divalente, con liberación de yoduro equivalente al contenido original de OD. El yoduro es entonces titulado con una solución estándar de Tiosulfato.

Equipo y Materiales

- Frascos de vidrio para DBO₅ con respectivos tapones.
- Pipetas volumétricas de 1ml.
- Probetas de 250 ml.
- Tituladores.
- Pizetas.

Reactivos

a) Solución sulfato manganoso tetrahidratado.

Disolver 480 g de $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ ó 400 g de $MnSO_4 \cdot 2H_2O$ ó 364 g $MnSO_4 \cdot H_2O$ en agua destilada, filtrar y diluir a 1 litro.

La solución de sulfato manganoso no deberá dar color con el almidón cuando es adicionado a una solución acidificada de KI.

b) Solución Alkali-Yoduro-Azida

Para muestras saturadas o de menor saturación. Disolver 500 g de NaOH (ó 700 g de KOH), 135 g de NaI (ó 150 g KI) en agua destilada y diluir a un litro. Añadir 10 g de NaN_3 disueltos en 40 ml de agua destilada. Las sales de sodio y potasio pueden ser utilizadas en forma intercambiada. Este reactivo no debe dar color con el almidón cuando es diluida y acidificada.

c) Acido sulfúrico, H_2SO_4 , concentrado

Un mililitro es equivalente a aproximadamente 3 ml de reactivo álcali-yoduro-azida.

d) Solución de almidón

Disolver 2 g de almidón soluble (calidad analítica) y 0.2 g de ácido salicílico como preservante en 100 ml de agua destilada caliente.

e) Solución Estándar de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ a 0.025 M

Disolver 6.205 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ en agua destilada. Añadir 1.5 ml de NaOH 6 N ó 0.4 g de NaOH sólido y diluir a 1 litro. Estandarizar con solución de biyodato.

f) Solución Estándar de Biyodato de potasio ($\text{KH}(\text{IO}_3)_2$) a 0.0021 M

Disolver 812.4 mg $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ en agua destilada y diluir a 1000 mililitros.

Para la estandarización:

Disolver aproximadamente 2 g de biyodato libre de yodato en un frasco erlenmeyer con 100 a 150 ml de agua destilada, añadir 1 ml de H_2SO_4 6 N ó unas pocas gotas de H_2SO_4 concentrado y 20 ml de solución estándar de biyodato. Diluir a 200 ml y titular el yodo liberado con la solución estándar de Tiosulfato, añadiendo almidón cerca del punto final de la titulación cuando un color amarillo pálido es alcanzado. Cuando las soluciones son de igual fuerza, 20 ml de Tiosulfato de sodio 0.025 M deberían de ser requeridos. Si no es así ajustar la solución de Tiosulfato a la concentración a 0.025 M.

Procedimiento.

- A la muestra colectada en un frasco de 300 ml, añadir 1 ml de MnSO_4 seguido por 1 ml de reactivo de azida.
- Si la pipeta es sumergida dentro de la muestra enjuagarla antes de regresarla al frasco del reactivo. Alternativamente mantenga la punta de la pipeta justo arriba de la superficie del líquido cuando se estén añadiendo los reactivos.
- Tapar cuidadosamente para evitar burbujas de aire y mezclar invirtiendo el frasco varias veces. Cuando el precipitado haya sedimentado lo suficiente (aproximadamente la mitad del volumen del frasco) dejar que el sobrenadante aclare arriba del floculo de MnSO_4 , añadir 1 ml de H_2SO_4 concentrado.
- Tapar nuevamente y mezclar por inversión hasta que la disolución esté completa.

- Titular un volumen correspondiente a 200 ml de la muestra original después de la corrección por pérdida de muestra por desplazamiento de los reactivos.
- Titular con solución de Tiosulfato 0.025 M hasta la aparición de un color amarillo pálido.
- Añadir unos pocas gotas de solución de almidón y continuar la titulación hasta la primera desaparición del color azul.
- Si el punto final es sobrepasado titular de retroceso con solución de biyodato 0.0021 M añadido gota a gota ó por la adición de un volumen medido de muestra tratada. Corregir la cantidad de solución de biyodato o de muestra. No tomar en cuenta las recoloraciones siguientes que aparecen por efecto catalítico de nitritos o trazas de sales férricas que no fueron complejadas con el fluoruro.

Cálculo

- Para 200 mL de muestra, 1 mL de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.025 M es = 1 mg de OD/L.
- Para un total de 2 mL (1 mL de cada reactivo) en un frasco de 300 mL, titular

$$\frac{200 \times 300}{(300 - 2)} = 201 \text{ml}$$

Precisión y Sesgo

El Oxígeno Disuelto puede ser determinado con una precisión, expresada como una desviación estándar, de cerca de 20 µg/L en agua destilada y cerca de 60 µg/L en aguas de desecho y en efluentes secundarios. En presencia de interferentes apreciables hasta con las modificaciones apropiadas, la desviación estándar puede ser tan alta como 100 µg/L. Aun los errores grandes pueden ocurrir en aguas de prueba que contengan sólidos suspendidos orgánicos o una contaminación fuerte. Evitar los errores debido a descuido en la toma de las muestras, prolongación de la terminación de la prueba, o por la selección inadecuada de una modificación inadecuada.

L.4. Análisis realizados para la obtención del ICA para la Bahía de Jiquilisco

a) Procedimiento para SST:

- Primero se lava cada filtro con tres porciones de 20 ml de agua desmineralizada en el aparato de filtración.



- Todos los filtros son transferidos a un vidrio reloj previamente enumerado, estos son colocados en una bandeja de metal y secados en una estufa a 105°C por 30 min. Los vidrios reloj se dejan enfriar en un desecador para balancear la temperatura y luego son pesados en una balanza analítica.



- Se filtran 100 ml de muestra (en 3 porciones) y luego 300 ml de agua destilada (en 3 porciones cada 100 ml). Muestras con altos sólidos disueltos pueden requerir lavado adicional.



- Cada filtro se remueve con una pinza cuidadosamente para no romperlo y luego se coloca en su respectivo vidrio reloj pesado y enumerado previamente.



- Se utiliza una bandeja para secar los vidrios reloj en la estufa durante 1 hora a 105 °C, enfriar en un desecador para balancear la temperatura y pesar nuevamente.



- Fue necesario repetir el ciclo de secado, enfriamiento, desecación, y pesado hasta obtener un cambio no menor de peso del 4% del peso anterior.

b) Procedimiento para SS:

Se toma la muestra y se agita para homogeneizarla. Luego se llenan los conos Imhoff hasta la marca de 1L.

- Se dejan sedimentar por 45 minutos y se agitan suavemente cerca de la orilla del cono con un agitador de vidrio para separar las partículas que han quedado adheridas.
- Nuevamente se dejan sedimentar por otros 15 minutos y se lee la cantidad de sólidos sedimentables en el cono como ml/L.
- Generalmente las muestras presentaron un rango menor a 0.1 hasta 0.3 ml/L. No fue necesario realizar duplicados.



c) Método alternativo: Obtención del OD por medio del método de Winkler:

- Luego de haber colectado las muestras de las 5 estaciones de muestreo, preservándolas con 1 ml de Sulfato manganoso y 1 ml de solución de Azida de sodio, se procedió inmediatamente a completar el análisis de OD en el Laboratorio de Calidad de Aguas del MARN/DGOA.



- Al tener el suficiente precipitado se añadió 1 ml de H_2SO_4 concentrado, se tapa nuevamente y se mezcla por inversión hasta que la disolución esté completa.



- Se realizó la corrección por pérdida de muestra por desplazamiento de los reactivos y se tituló un volumen correspondiente a 200 ml de la muestra original con solución de Tiosulfato 0.025 M hasta que aparece un color amarillo pálido.



- Luego se continuó la titulación hasta la primera desaparición del color azul.



Este procedimiento se realizó para las 5 muestras colectadas en la Bahía de Jiquilisco y los resultados fueron anotados en la cadena de custodia.