

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



“DETERMINACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DE LOS MICRONUTRIENTES
PRESENTES EN TEJIDO BLANDO DEL MOLUSCO *Anadara tuberculosa*,
(SOWERBY, 1833) PRESENTE EN EL ESTERO DE JALTEPEQUE”.

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:
Br. XIOMARA LISSETH PAREDES DE PAZ

PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2010.

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



“DETERMINACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DE LOS MICRONUTRIENTES
PRESENTES EN TEJIDO BLANDO DEL MOLUSCO *Anadara tuberculosa*,
(SOWERBY, 1833) PRESENTE EN EL ESTERO DE JALTEPEQUE”.

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:
Br. XIOMARA LISSETH PAREDES DE PAZ

PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

ASESORA: -----
M. Sc. OLGA LIDIA TEJADA RIVAS

ASESOR: -----
Ing. LUIS RAMÓN PORTILLO TRUJILLO

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2010.

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



“DETERMINACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DE LOS MICRONUTRIENTES
PRESENTES EN TEJIDO BLANDO DEL MOLUSCO *Anadara tuberculosa*,
(SOWERBY, 1833) PRESENTE EN EL ESTERO DE JALTEPEQUE”.

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:
Br. XIOMARA LISSETH PAREDES DE PAZ

PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

JURADO: -----
Mes. OSMIN POCASANGRE

JURADO: -----
M. ge. RENÉ MAX BUSTILLO

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2010.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR:

Ing. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL:

Lic. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FISCAL:

Dr. RENE MADECADEL PERLA JIMÉNEZ

DECANO DE LA FACULTAD:

Dr. RAFAEL ANTONIO GÓMEZ ESCOTO

DIRECTORA DE LA ESCUELA:

M. Sc. NOHEMY ELIZABETH VENTURA CENTENO

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2010.

DEDICATORIA.

Con todo amor dedico el presente trabajo de graduación a Dios Todopoderoso por ser mi luz, guía, fortaleza e inteligencia y que después de un gran esfuerzo y sacrificio me permitió alcanzar una exitosa meta.

A la santísima madre de Jesús, la virgen María, por su intercesión ante su hijo amado y su compañía en mi vida, mostrándome su modelo de mujer obediente humilde y servicial haciendo el bien no importando las circunstancias.

A mi madre, María Marta Paredes, por haberme formado con sus valores y principios y motivarme a la superación con su espíritu de lucha y sus grandes sacrificios y apoyo en todo momento.

A mi padre José Armando De Paz (Q. D. D. G) a su memoria porque fue el padre más sabio; siempre estuvo a la espera de mi superación y fue el ejemplo a seguir con sus hermosas cualidades que lo destacaban. Con mucha fe creo que el cumplir esta meta, será una inmensa alegría para él.

A mis hermanos:

Santiago Alexander Paredes, por su apoyo incondicional, en todo momento, a quien debo la ayuda económica y moral para realizar mi estudio y por su confianza en mi capacidad.

Jorge Alberto De Paz Paredes porque siempre estuvo atento a escucharme y darme palabras de consuelo en momentos difíciles y de alegría, brindándome su apoyo moral y motivándome para seguir adelante.

A mi cuñada Zenaida Esmeralda Beltrán, por su hermosa amistad y apoyo económico e incondicional.

A mis amigos:

Inocencio Alas por confiar en mi capacidad, y ayudarme a encontrar con mis raíces ancestrales, y enseñarme acerca de la cultura espiritualidad y Teología de la paz. Y su apoyo económico.

A Lic. Laura Guzmán, por su excelente amistad y su apoyo incondicional.

A Lic. Sayes por su amistad y apoyo incondicional.

Finalmente lo dedico a todas aquellas personas que de una u otra manera apoyaron la ejecución de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este trabajo de investigación agradezco a Dios Todopoderoso y a su hijo amado Jesús, por iluminarme con sabiduría e inteligencia y ser el conductor de mi vida.

A la virgen María, la madre de Jesús por su acompañamiento en mi vida.

A mi madre María Marta Paredes por haberme regalado vida y sus cuidados que desde niña me brindo hasta la fecha. Por su sacrificio y apoyo en todos los aspectos de mi vida.

A mi padre José Armando De Paz (Q. D. D. G) que por sus correcciones, me ayudó a mi formación personal.

A mis hermanos Santiago Alexander Paredes y Jorge Alberto De Paz, por su comprensión, cariño y constante apoyo incondicional.

Al CIAN (Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares) por haber, facilitado la técnica, equipo y materiales para la realización del análisis.

A mis asesores:

M. Sc. Olga Lidia Tejada Rivas, por su disposición al aceptar asesorar este trabajo de investigación y sus acertadas observaciones, dedicación desde el principio hasta el final.

Ing. Luis Ramón Portillo Trujillo, por su dedicación y esmero en esta investigación y sus sabios consejos que hicieron posible el inicio y culminación de este estudio. Por el desarrollo experimental del análisis cualitativo y cuantitativo.

Al jurado:

M. ge. René Max Bustillo, por su disposición a evaluar este trabajo de investigación y sus sabias y claras observaciones.

Mes. Osmín Pocasangre por su disposición a evaluar este trabajo de investigación y sus enriquecedoras observaciones.

A colaboradores:

Señor Marcelino Guzmán por su apoyo en cuanto a contactar a las señoras extractoras de curiles.

Señoras Blanca Tolentino y Ana maría Tolentino, por realizar la extracción de las muestras de *Anadara tuberculosa* "curil".

Lic. Julio Payes, por sus sabios aportes en la preparación y digestión de las muestras.

Bachiller, Erick Morán por su generosa disposición en la toma de fotografías de todo el proceso de análisis de las muestras en el laboratorio del CIAN.

Bachiller Andrea Planas, por su amable disposición en la toma de fotografías de las muestras en el laboratorio de Ficología.

Finalmente a todas las personas que de cualquier forma colaboraron para la realización de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO.

Contenido	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	4
2.1 Importancia del ecosistema de manglar.....	4
2.2 Moluscos asociados a los manglares.....	5
2.2.1 Ubicación taxonómica de los bivalvos más utilizados como fuente alimenticia en El Salvador.....	5
2.2.2 Características generales de los bivalvos.....	6
2.2.3 Evolución de la nutrición en los bivalvos.....	6
2.2.4 Características distintivas de <i>Anadara tuberculosa</i> (Sowerby, 1833).....	7
2.3 Composición Química, pH, y Salinidad del agua.....	7
2.4 Importancia de los micronutrientes para el Humano.....	8
2.5 Aplicaciones de la Técnica analítica de fluorescencia de rayos X.....	10

2.6	Formación de un rayo x.....	10
2.6.1	Procesos productores de rayos X.....	11
2.6.2	Producción de Espectro continuo o Bemsstrahlung.....	12
2.6.3	Producción de líneas espectrales.....	12
2.6.4	Interacción de los rayos X con la materia.....	13
2.6.5	Rayos X de fluorescencia.....	13
2.6.6	Producción de Fluorescencia.....	13
2.6.7	Método de análisis por fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF).....	14
2.6.8	Ventajas de la Técnica Analítica de Fluorescencia de rayos x.....	15
2.7.	Muestreo.....	16
2.7.1	Consideraciones básicas de la muestra.....	16
2.7.2	Procedimientos físicos simples de la preparación de la muestra.....	16
2.7.3	Contaminación de la muestra.....	17
2.7.4	Secado de muestras.....	17
2.7.5	Descomposición de muestras sólidas.....	17
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1	Ubicación geográfica y descripción de la zona en estudio.....	18
3.2	Características Biofísicas.....	19
3.2.1	Zona de vida.....	19
3.2.2	Tipo de vegetación.....	20

3.2.3 Fauna.....	20
3.3 Fase de campo.....	21
3.3.1 Ubicación y Selección de los sitios de muestreo.....	21
3.3.2 Colecta de la muestra.....	23
3.4 Fase de laboratorio.....	24
3.5 Aplicación de la técnica de rayos x por reflexión total.....	24
3.6 Digestión ácida.....	25
3.7 Preparación de muestra a analizar.....	27
3.8 Análisis de Fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF).....	27
3.8.1 Espectrómetro TXRF.....	27
3.8.2 Análisis cualitativo.....	28
3.8.3 Análisis Cuantitativo.....	28
3.8.3.1 Análisis de espectros y determinación de áreas utilizando programa AXIL y QXAS.....	29
3.8.3.2 Cálculos de las concentraciones de los elementos presentes en las muestras en partes por millón.....	29
3.9 Análisis de los datos.....	30
IV. RESULTADOS.....	32
4.1 Determinación de micronutrientes en tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i>	32

4.1.1	Análisis cualitativo de tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i>	32
4.1.2	Análisis cuantitativo de micronutrientes y macronutrientes en tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i>	33
4.1.2.1	Análisis de espectros y determinación de áreas utilizando programa AXIL y QXAS.....	33
4.1.2.2	Concentraciones de los elementos presentes en las muestras en partes por millón.	34
4.1.2.3	Análisis de los datos.....	34
4.1.2.4	Descripción detallada de la concentración de micronutrientes, macronutrientes y Br en muestras de tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i> de Monte Agüegüeto (zona externa).....	36
4.1.2.5	Descripción detallada de la Concentración de micronutrientes, macronutrientes y Br en muestras de tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i> de Monte Chacalín (zona intermedia).....	38
4.1.2.6	Descripción detallada de la concentración de micronutrientes, macronutrientes y Br en muestras de tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i> de Isla Jamaica (zona interna).....	40
4.2	Resultados de las mediciones de salinidad del agua.....	42
4.3	Resultados de las mediciones de potencial de Hidrogeno (pH) del agua.....	43

4.4 Salinidad versus Concentración de micronutrientes en tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i>	44
4.5 pH versus Concentración de micronutrientes en tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i>	45
V. DISCUSIÓN.....	46
5.1 Determinación de micronutrientes en tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i>	46
5.1.1 Comparaciones con otros estudios de contenido de micronutrientes y macronutrientes en tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i> y otras especies.....	46
5.2 Gradientes salinidad y potencial de Hidrogeno (pH).....	49
5.2.1 Salinidad versus Concentración de micronutrientes en tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i>	49
5.2.2 Potencial de Hidrogeno (pH) versus concentración de micronutrientes en tejido blando de <i>Anadara tuberculosa</i>	49
VI. CONCLUSIONES.....	51
VII. RECOMENDACIONES.....	52
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	53
ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla.	Pág.
Tabla 1. Elementos presentes en las muestras de <i>Anadara tuberculosa</i> , en las tres estaciones de muestreo: Monte Agüegüeto, Monte Chacalín e Isla Jamaica.....	32
Tabla 2. Promedios de las concentraciones en ppm de micronutrientes, macronutrientes y Br de las tres estaciones muestreadas. Los valores que se presentan después del signo \pm son valores promedio de las incertezas.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura	pág.
Fig. 1. Mapa de ubicación del Estero de Jaltepeque, Departamento de La Paz. Se observan sus cañones, canales de marea y principales bocanas. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales	19
Fig. 2. Mapa de ubicación de las estaciones de muestreo, en los tres estratos dentro del manglar de Jaltepeque. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Zona interna corresponde a la estación Isla Jamaica, zona intermedia a la estación Monte Chacalín y la zona externa a la estación del Monte Agüegüeto.....	22
Fig. 3. A. Colecta de los curiles, realizada por señora extractora, B. Muestra de curil.....	23
Fig. 4. A: Secado del tejido blando en estufa convencional, B: Molido de los tejidos secos, C: Muestras pulverizadas en viales de polietileno.....	25
Fig. 5. A: Pesado de la muestra molida, B: Muestras en vasos de teflón para la digestión ácida.....	26
Fig. 6. A: Instalación de los tubos de teflón para sujetar muestras, B: Muestras colocadas dentro de horno microondas, para su digestión ácida.....	26
Fig.7. A: Muestra digerida en el centro de cuarzo, B: Muestras secándose bajo la luz de un reflector, C: Muestra seca, lista para aplicar fluorescencia de rayos x, D: Muestra colocada en detector de rayos x.....	27
Fig. 8. Espectro con sus líneas espectrales que identifican los micronutrientes Fe, Zn	

Cu, Mn de la muestra de <i>Anadara tuberculosa</i> correspondiente a Monte Agüegüeto, del mes de marzo.....	33
Fig. 9. Comparación de concentraciones en ppm de los micronutrientes presentes en las tres estaciones de muestreo, correspondientes a cada fecha de colecta (2008),.....	36
Fig.10. Concentraciones en ppm de los micronutrientes presentes en la muestra de Monte Agüegüeto, correspondiente a las cuatro fechas de colecta.....	37
Fig.11. Concentraciones en ppm de los macronutrientes y Br, presentes en la muestra de monte Agüegüeto, correspondiente a las cuatro fechas de colecta.....	38
Fig.12. Concentraciones en ppm de los micronutrientes presentes en la muestra de monte Chacalín, correspondiente a tres fechas de colecta.....	39
Fig.13. Concentraciones en ppm de los macronutrientes y Br presentes en la muestra de monte Chacalín, correspondiente a tres fechas de colecta.....	40
Fig.14. Concentraciones en ppm de los micronutrientes presentes en la muestra de Isla Jamaica, correspondiente a cuatro fechas de colecta.....	41
Fig.15. Concentraciones en ppm de los macronutrientes y Br presentes en la muestra de Isla Jamaica, correspondiente a cuatro fechas de colecta.....	42
Fig.16. Salinidades que se registraron en los tres puntos de muestreo, correspondiente a las diferentes fechas de colecta.....	43
Fig.17. Valores de pH registrados en los tres puntos de muestreo, correspondiente a las diferentes fechas de colecta.....	44

RESUMEN

Se determinó cuantitativa y cualitativamente los micronutrientes presentes en el tejido blando del molusco *Anadara tuberculosa*, (sowerby, 1833) colectado en el estero de Jaltepeque, utilizando la técnica analítica de fluorescencia de rayos X por reflexión total y se estableció la relación existente de las concentraciones de micronutrientes en el tejido blando, con los gradientes de salinidad y pH. Para realizar el estudio, el manglar se estratificó en tres sectores y en cada uno de estos una estación de muestreo: Monte Agüegüeto se ubica en el estrato externo ó área de canales que bordea la bocana; Isla Jamaica en el estrato interno ó zona de canales que recibe influencia directa de escorrentías continentales y Monte Chacalín en el estrato intermedio entre los dos anteriores. En el estudio se logró determinar la presencia de los micronutrientes Hierro (Fe), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Manganeseo (Mn) y los macronutrientes Potasio (K) y Calcio (Ca) y Bromo (Br). Los resultados obtenidos permiten considerar al tejido blando de *Anadara tuberculosa* como una fuente de micronutrientes Hierro (Fe), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Manganeseo (Mn) y macronutrientes Potasio (K) y Calcio (Ca) y Bromo (Br); al mismo tiempo la prueba de Ji Cuadrada de homogeneidad realizada a los valores promedio de salinidad y potencial de Hidrogeno (pH) demostró que no existe relación entre estos gradientes y las concentraciones de micronutrientes en el tejido blando de esta especie.

I. INTRODUCCIÓN.

Los ecosistemas de manglar son de mucha importancia, poseen características específicas y marcan la transición entre el mar y la tierra, son influenciados por flujos de agua salada y requieren del aporte de agua dulce para mantener un adecuado balance iónico y recibir nutrientes (Snedaker y Getter 1985).

En los manglares ocurren fluctuaciones diarias y estacionales en los niveles de agua, es decir que están sujetos a un constante cambio entre agua salada y dulce. El ambiente entre mareas está sometido a cambios por erosión, sedimentación o cambios del nivel del mar (Unión Mundial para la Naturaleza, UICN 1993).

Las raíces aéreas de los manglares constituyen un entramado que alberga a multitud de especies, son hábitats propicios para animales y vegetales convirtiéndose en zonas de apareamiento, alimentación, protección, reproducción y viveros de peces, crustáceos y moluscos durante sus etapas tempranas; además son zonas, de refugio y cría de gran cantidad de estas especies, muchas de ellas de gran utilidad para la alimentación humana, todo lo cual ha hecho posible que en sus alrededores se asienten poblaciones humanas que tienen como fuente de vida los recursos que genera este ecosistema, razones por las que se les considera de mayor productividad en el mundo (Snedaker y Getter 1985).

El Salvador, forma parte de la denominada Provincia Panámica, situación que contribuye a contar con una alta diversidad de especies de moluscos en los manglares como es el caso de las ostras, mejillones, y curiles, los cuales son muy consumidos (Hernández 1996).

En la actualidad la extracción de *Anadara tuberculosa* y *A. grandis* es muy importante para los países de Centroamérica, debido a que estos moluscos son muy populares comúnmente son servidos los tejidos blandos de forma cruda como cócteles

y aperitivos (Angell 1996).

Se ha estimado, que el consumo de 6 curiles suministra más de las concentraciones necesarias en la dieta diaria de elementos como Hierro, Cobre, Yodo, Calcio, Magnesio, Fósforo, un décimo de proteínas, Vitamina A, Tiamina, Riboflavina y Niacina además Selenio y Fluor (Rodríguez y Fernández 1968; Scrimshaw y Young 1976; citado por Angell 1996).

El importante papel que desempeñan los minerales (macronutrientes y micronutrientes) para el organismo humano se debe a la gran cantidad de funciones que desempeñan (Elementos protectores o estructurales del organismo y reparadores de las células) y no pueden reemplazarse entre si (De Castro 1946; Farber 1975; FAO 1990; Alonso 1996).

La deficiencia de estos minerales (micronutrientes), es llamada hambre oculta y es muy común en los grupos de poblaciones vulnerables como lactantes y mujeres en edad de procrear (Organismo Internacional de Energía Atómica, IAEA 2005).

A pesar del alto consumo de estas especies en El Salvador no se ha contado con información en la que se identifique y determine su aporte nutricional a la dieta humana y los micronutrientes contenidos en el tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

Tomando en cuenta la importancia del recurso en la dieta alimenticia se han llevado a cabo varios estudios en los que se ha explorado la fijación de coliformes y metales pesados en los tejidos blandos de *Anadara tuberculosa*, sin embargo no existe información en relación al aporte de los micronutrientes.

Esta investigación, consistió en analizar el tejido blando del curil *Anadara tuberculosa*, mediante la técnica de fluorescencia de rayos X por reflexión total, de muestras extraídas de diferentes puntos en el manglar del estero de Jaltepeque.

El objetivo principal de esta investigación fue determinar cuantitativamente en ppm (partes por millón) y cualitativamente los micronutrientes presentes en el tejido blando del molusco *Anadara tuberculosa* utilizando la técnica analítica de fluorescencia de rayos X. Así mismo establecer la relación existente entre las concentraciones de micronutrientes y los gradientes de salinidad y pH en el tejido blando del molusco *Anadara tuberculosa*.

Los resultados permitieron conocer la calidad y cantidad de micronutrientes presentes en el tejido blando de este molusco y serán muy importantes a la hora de potenciar cultivos controlados de este organismo, tales que permitan mayor calidad en el producto sin riesgo para la salud y contribuir a la seguridad alimentaria del país.

II. FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1 Importancia del ecosistema de manglar.

Los ecosistemas de manglar se ubican en las zonas costeras del trópico y subtropical, a lo largo de áreas protegidas del oleaje en bahías, golfos, desembocaduras de grandes ríos y en lagunas costeras. Los manglares contribuyen a la estabilización de las costas ya que sirven de barrera natural contra huracanes y tormentas tropicales, también son formadores de suelo ya que algunas especies vegetales típicas de estos bosques, tal como *Rhizophora* y *Avicennia*, lentifican el flujo de agua entre sus raíces, acumulando grandes cantidades de sedimento (Yañez-Arancibia 1986).

Otra gran contribución de los manglares es que permite la formación de nutrientes y material orgánico que son de mucha importancia para la producción primaria y secundaria en las aguas costeras. También actúan como filtros naturales reteniendo sedimentos y sustancias tóxicas y purificando el agua que llega al mar; desaliniza el agua de mar que ingresa a tierra firme; son eficientes productores de oxígeno y albergan una gran cantidad de especies de aves migratorias y permanentes, peces, moluscos y crustáceos (Suman 1994).

En estos ambientes, sucede una circulación típica del flujo de dos capas de agua, donde las de menor salinidad que se dirigen hacia el mar lo hacen por la capa superior y el agua salada penetra por el fondo. De este modo se constituyen gradientes horizontales y eventualmente estratificaciones verticales de diferentes parámetros (Snedaker y Getter 1985).

Se puede decir que el gradiente de salinidad tiene una variación leve de forma vertical, comparado con forma horizontal, no obstante en las zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos, las zonas profundas presentan salinidades superiores en más de 10% a las zonas superficiales. En áreas de influencia exclusivamente marina, la diferencia entre la salinidad superficial y las de 10 m de profundidad es menor de 5% (Snedaker y Getter 1985).

En cuanto al gradiente potencial de Hidrogeno (pH), este presenta valores altos para zonas acuáticas de los estuarios, y valores bajos en zonas de alta descomposición microbiana, proceso realizado por microorganismos como bacterias y hongos. También el cambio mareal afecta el gradiente pH, en marea alta los valores son altos, si la marea es baja sucede lo contrario (Acosta y Lodeiros 2003).

A los ecosistemas de manglar, se les considera de mucha importancia debido a que presentan altas tasas de productividad primaria bruta que alcanzan niveles de hasta 14 gramos de Carbono/ mt^2 al día en condiciones favorables como (Salinidad moderada, temperatura cálida todo el año, reflujos regulares de las aguas de la superficie y exposición a escurrimientos de agua terrestre) (Snedaker y Getter 1985).

Algunas de las poblaciones de moluscos, que se encuentran en los manglares son las conchas, ostras, almejas, mejillones, langostas y calamares considerados como fuentes alimentarias de proteínas y minerales que aportan a la dieta proporciones adecuadas para las necesidades humanas (Snedaker y Getter 1985).

2.2 Moluscos asociados a los manglares.

Barnes (1995) establece que en los manglares es común encontrar poblaciones de moluscos, ya que este es el hábitat, propicio donde se desarrollan.

Los moluscos se encuentran casi completamente enterrados en el fango, desde la zona intermareal hasta unos 5 metros de profundidad. Tal es el caso de *Anadara spp.* entre otros, quienes ecológicamente juegan un papel importante (FAO 1995).

2. 2.1 Ubicación taxonómica de los bivalvos más utilizados como fuente alimenticia en El Salvador.

Los bivalvos utilizados como fuente alimenticia en el salvador son: los “curiles” (*Anadara tuberculosa*), “curillillas” (*Anadara similis*) y “casco de burro” (*Anadara grandis*).

Según Barnes (1995) los bivalvos, taxonomicamente están ubicados de la siguiente manera:

Reino: Animal.

Phyllum: Mollusca.

Clase: Bivalvia (Pelecypoda).

Subclase: Lamellibranchia

Orden: Arcoida

Familia: Arcidae (Lamarck, 1809).

2.2.2 Características generales de los bivalvos.

Los moluscos bivalvos son invertebrados comúnmente conocidos como Pelecipodos (por poseer pie en forma de pala o hacha excavadora) ó lamelibranquios (por la presencia de branquias de forma laminar) (Marshall y Williams 1980).

Dentro del grupo de los lamelibranquios, se encuentran el mayor número de las especies de moluscos. La talla de estos va desde las diminutas almejas dulceacuícolas de la familia Sphaeriidae de 2mm, hasta las almejas gigantes del genero *Tridacnea* del Pacifico sur, con longitudes de más de 1m, llegando a pesar más de 1100kg (Barnes 1995).

2.2.3 Evolución de la nutrición en los bivalvos.

Según los procesos evolutivos de los bivalvos, primeramente fueron excavadores someros de sustratos blandos, que surgieron de un grupo hoy extinto los rostroconchos, pertenecientes a la subclase Protobranchia, posteriormente apareció en algún grupo de esta subclase la alimentación por filtración, que dio lugar a una tremenda explosión adaptativa hasta convertirlos en la fauna bivalva filtradora dominante (Barnes 1995).

Es así como a través de la evolución de los lamelibranquios, las partículas detritales y los microorganismos presentes en la corriente ventilatoria comenzaron a ser utilizados como alimento, las branquias funcionaron como filtro y los cilios se adaptaron para transportar las partículas atrapadas en moco desde las branquias hasta la boca.

Los filamentos branquiales se modificaron; se dio un alargamiento y plegamiento y aumento la cantidad, hasta prolongarse en dirección anterior hasta llegar a los palpos (Barnes 1995).

2. 2.4 Características distintivas de *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833).

Este molusco posee una concha equivalva, inequilatera, muy sólida, el contorno es ovalado oblicuo y moderadamente alargada. En cuanto al borde dorsal es un tanto angulado en ambos extremos.

El área cardinal delgada y alargada , posee unas 35 (de 33 a 37) costillas radiales redondeadas y relativamente juntas, generalmente con nódulos o tubérculos dispersos, especialmente hacia el margen antero- ventral de la valva, periostraco grueso con fuertes arrugas comúnmente erosionado en los umbos, dejando al descubierto la concha blanca.

También posee un ligamento, con una serie de surcos en v, cubriendo la totalidad del área cardinal; una charnela larga, delgada y bastante recta. Los bordes internos con fuertes crenulaciones correspondientes a las costillas externas. La cobertura bisal ausente.

A esta especie, se le observa, en la superficie externa una coloración blanca, por debajo del periostraco de color marrón o negro en la superficie interna blanquecina, en la cavidad umbonal a menudo con un ligero tinte púrpura claro.

La talla que estos pueden alcanzar oscila entre los 6 centímetros y 8 centímetros (FAO 1995).

2.3 Composición Química, pH, y Salinidad del agua.

La distribución de los organismos marinos y de agua dulce, suele ser afectada con mucha frecuencia por la composición química, del agua.

En cuanto a salinidad en el océano abierto está no es variable por lo tanto no limita a los organismos marinos que se alimentan de plancton, pero en las cercanías de las playas y en estuarios la dilución de agua marina por la dulce suele hacer que disminuya la salinidad hasta niveles decisivos (Krebs 1985).

Las condiciones ambientales extremas como altas temperaturas, baja salinidad, bajos niveles de pH y oxígeno disuelto son factores que juegan un papel importante en el comportamiento y estabilidad de una población ya que influyen y regulan el metabolismo de un organismo (Acosta y Lodeiros 2003).

La mayoría de organismos, no soporta la exposición prolongada del agua dulce, tal es el caso de las ostras y conchas que viven de preferencia en zonas donde la salinidad es relativamente alta todo el año. A pesar que las conchas son más tolerantes a las condiciones de baja salinidad pero su distribución está definida por este gradiente (Krebs 1985).

2.4 Importancia de los micronutrientes para el Humano.

Los minerales cumplen funciones de gran importancia en el organismo. Para el óptimo funcionamiento, se requiere de la ingesta de micronutrientes que se necesitan en cantidades menores de 100 mg al día y macronutrientes necesarios en cantidades mayores de 100 mg al día (Murray *et al.*, 1988).

Palencia (s.a) indica que el ser humano, necesita materiales para construir o reparar su propio organismo, energía para hacerlo funcionar y reguladores que controlen ese proceso, tal es el caso de los micronutrientes. Para conseguirlo debe proporcionar a su cuerpo las sustancias requeridas, lo que se hace posible mediante la alimentación. La calidad de la alimentación conlleva a la nutrición que es el conjunto de procesos involuntarios mediante los cuales el cuerpo humano incorpora, transforma y utiliza los nutrientes suministrados con los alimentos, para realizar sus funciones vitales.

Konopka (1988) indica que las necesidades de nutrientes varían para cada individuo, de acuerdo con sus características y circunstancias particulares. Sin embargo, para simplificar la determinación de estas necesidades, se ha establecido lo que se denomina Cantidad Diaria Recomendada (CDR) o se conoce como Ingesta Diaria Recomendada (IDR), en inglés RDA (Recommended Dietary Allowance).

Konopka (1988) determina las siguientes cantidades diarias requeridas de micronutrientes, para los hombres. El Hierro 10 mg, Cinc 10 mg, Manganeso 3 mg, Cobre 2 mg. Para las mujeres Hierro 18 mg; el Cinc 20 mg; Manganeso 4 mg y Cobre 5 mg. Por otra parte Mc Ardle *et al* (1995) recomienda las siguientes cantidades de micronutrientes para los hombres Hierro 10 mg, Cinc 15 mg, Cobre 2 mg. Las cantidades recomendadas para las mujeres son: Hierro 18 mg, Cinc 15 mg, Cobre 2 mg.

Los micronutrientes como el Cinc, Hierro, Manganeso, Cobre, Yodo, Fluor, Selenio son muy necesarios en la alimentación, para el metabolismo es decir que le permiten al organismo el funcionamiento de una manera óptima y sin alteraciones (FAO 1990).

Entre los micronutrientes principales y sus funciones están los siguientes: El Cinc es constituyente de enzimas, implicado en la digestión, su deficiencia causa falta de crecimiento y maduración sexual retrasada, disminución del sentido del gusto; el Hierro es constituyente de la hemoglobina y enzimas implicadas en el metabolismo energético, su deficiencia causa anemia (debilidad, baja resistencia a la infección), alteraciones intestinales; el Manganeso, constituyente de enzimas implicadas en la síntesis de grasas, su deficiencia puede causar pérdida de peso, irritación de la piel, vómitos, cambio de color de cabello, retraso en el crecimiento del cabello; el Cobre es constituyente de enzimas asociadas con el metabolismo del Hierro, su deficiencia causa Anemia y cambios óseos (raros en el hombre); el Yodo, es constituyente de las hormonas tiroideas su deficiencia causa bocio(Tiroides hipertrofiado), sordomudez, alteración del crecimiento fetal y del desarrollo cerebral; el Fluor importante en el mantenimiento de la estructura ósea su deficiencia causa caries dentales y posible adelgazamiento de los huesos; el Selenio funciona en estrecha relación con vitamina E

su deficiencia causa anemia (rara), dolor y debilidad muscular (Konopka 1988; McArdle, *et al.*, 1995).

2.5 Aplicaciones de la Técnica analítica de fluorescencia de rayos X.

Las áreas de aplicaciones de esta técnica son muy diversas, haciendo posible el análisis de muestras de diferente naturaleza, tanto en investigación y desarrollo como en control de procesos. Inicialmente la Fluorescencia de Rayos X (FRX), se utilizó en las industrias que trataban metales de primera fusión o aleaciones, en la gran industria mineral (Siderurgia, industrias cementeras, de cerámica, de vidrio, etc.) (Rouessac y Rouessac 2003).

En la actualidad esta aplicación se ha extendido a otros dominios: industria fotográfica y de semiconductores (control de impurezas en laminas de Silicio), geología, papelería, industria petrolera, análisis de elementos “ultraligeros” como el nitrógeno, toxicología, medioambiente (polvo, humos de combustión, tejidos vegetales y animales, metales pesados en vertidos, tales como Pb, As, Cr, Cd, y otros (Rouessac y Rouessac 2003).

2.6 Formación de un rayo x.

Tomando de referencia los trabajos de Bohr, para explicar el espectro visible con el modelo atómico, se sabe que un átomo puede existir solo en ciertos estados estacionarios. Los cambios de estado, ocurren en saltos, correspondiendo cada salto a una transición de un estado a otro (Arriola 1986).

Es interesante tener presente que la energía de un electrón E , principalmente depende de sus números cuánticos: del número cuántico principal n , cuyos valores 1, 2, 3, 4 y 5 definen las capas K, L, M, N, O.

Del momento angular orbital L , del espín del electrón S , el momento angular total de un electrón, será la suma de L y S .

También se considera necesario describir, el principio de exclusión de Pauli: “No pueden existir dos electrones en un átomo que tengan el mismo conjunto de números cuánticos” (Arriola 1986).

Cuando se crea una vacante, en una capa electrónica, será llenada (en aproximadamente $\sim 10^{-15}$ seg.) por otro electrón y se emitirá un fotón. Si el electrón pertenece a las capas internas, uno de las capas externas pasara a ocupar la vacante y el fotón emitido será un rayo X.”

2.6.1 Procesos productores de rayos X.

Se conoce dos procesos productores de rayos X, estos son: Procesos de dispersión y procesos de interacción.

El primero se refiere a cuando una partícula cargada incidente (electrón, protón, partícula α o ion pesado) golpea un electrón de la capa K, L, M etc. y transfiere parte de su energía cinética al electrón. La vacante que se originó puede llenarse con algún electrón de las capas externas y a continuación se da una emisión cuya energía es igual a la diferencia de energía entre los dos orbitales involucrados (Rouessac y Rouessac 2003).

Este proceso también puede suceder si un rayo X o un rayo gamma y transfiere su energía al electrón de la capa K., L, M etc.

En el segundo proceso de las interacciones, la del núcleo atómico con la nube electrónica: la interacción deja una vacante en la capa K, los radioisótopos que decaen por emisión γ (Gamma) pueden conducir a un proceso de conversión interna.

En este proceso, el fotón se absorbe en el átomo que lo originó, dándole su energía a un electrón orbital, que deja una vacante que es llenada por un electrón de una capa superior y luego se produce la energía de rayo X (Rouessac y Rouessac 2003).

Los isótopos que decaen por emisión β pueden también llevar a conversión interna. Una partícula β resulta de la conversión de un neutrón o protón dentro del núcleo; esta partícula β que es disparada desde el núcleo, puede transferir alguna

energía a un electrón de la capa K y crear una vacante que es llenada por un electrón de una capa superior y luego se produce un rayo X (Rouessac y Rouessac 2003).

Sin embargo, existe otro proceso para la obtención de vacantes en las capas internas, y difiere de los 2 anteriores en la manera de crear la vacante y es a través de la captura electrónica orbital, donde un electrón de la capa K o L es capturado por el núcleo y su vacante es llenada por un electrón de una capa superior, produciéndose la emisión de rayo X (Rouessac y Rouessac 2003).

2.6.2 Producción de Espectro continuo o Bemsstrahlung.

Este se forma a partir de una partícula cargada, que se va desacelerándose lentamente en la materia, y cuya máxima energía del fotón, se obtiene cuando un electrón pierde toda su energía cinética de golpe. El espectro producido es un continuo con un valor máximo que depende de la máxima energía que poseía la partícula frenada (Arriola 1986).

2.6.3 Producción de líneas espectrales.

Las transiciones a la capa k desde capas superiores producen radiación de fotones de rayos X, dando unas líneas que se les llama la serie de k. De las transiciones a la capa L resulta la serie L y así sucesivamente. Cuando la transición es de la capa L a la capa k se forman las líneas $K\alpha$. La línea $k\alpha$ esta compuesta por dos líneas $k\alpha_1$ y $k\alpha_2$ sus energías no difieren tanto (Arriola 1986).

Las longitudes de onda decrecen desde la serie M a la serie L, a la serie K, para un elemento dado. Esto es debido a que los electrones caen perdiendo más energía para llenar las vacantes en niveles sucesivamente más próximos al núcleo (Arriola 1986).

2.6.4 Interacción de los rayos X con la materia.

Los rayos X al atravesar un material son absorbidos por la materia, cada material se caracteriza por un coeficiente de absorción el que es función de la energía que se absorbe.

El coeficiente de absorción total de un material esta constituido por la suma de dos términos, la absorción por producción de electrones y la absorción por dispersión.

Con el decremento de la energía, el coeficiente de absorción se incrementa, algunas energías particulares presentan un notable decremento en la absorción, a estas energías, se les llama energías críticas de absorción (Arriola 1986).

2.6.5 Rayos X de fluorescencia.

Cuando se golpea un material (blanco) con electrones acelerados bajo una diferencia de potencial (voltaje) se generan rayos X característicos de los elementos presentes en el blanco así como el espectro continuo. La intensidad total de este espectro es proporcional al producto de la corriente del haz, el número atómico del blanco y el cuadrado del voltaje acelerador (Arriola 1986).

Para hacer una reducción de fondo continuo cuando se quiere excitar un elemento particular del blanco se debe usar un haz mono energético de rayos X, el cual se puede obtener por el uso de filtros del mismo material que el blanco del tubo de rayos X, o excitando un blanco de algún metal puro y haciendo que esta radiación secundaria excite el blanco que se va examinar (Arriola 1986).

2.6.6 Producción de Fluorescencia.

La producción de fluorescencia de la capa K, se le define como la razón del número de fotones de todas las líneas en la serie k, emitidas en la unidad de tiempo al numero de vacantes en la capa k formadas durante el mismo tiempo. Para cualquier otra capa, de similar forma se define la producción de fluorescencia (Arriola 1986).

2.6.7 Método de análisis por fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF).

Según Morcillo (1981) la espectrometría por fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF) se le considera como una técnica analítica de gran versatilidad y precisión, a pesar que su desarrollo es relativamente reciente.

La Fluorescencia de rayos X, o sea la propiedad espectral de los átomos, en la actualidad es muy utilizada en análisis químico para obtener información cualitativa o cuantitativa acerca de la composición elemental de una muestra. El fundamento del método consiste en irradiar la muestra con un haz de rayos X, o por medio de un bombardeo de partículas generalmente electrones, de esta manera los átomos ionizados son el origen de una emisión fluorescente también en la región de los rayos X. (Esta emisión es proporcional al número de átomos de interés (Analito) presentes en la muestra sujeta a análisis) (Rouessac y Rouessac 2003).

El estudio del espectro correspondiente; muestra que se trata de radiaciones de fluorescencia cuyas longitudes de onda son características de los átomos e independientes de las combinaciones químicas en las que se encuentran (Rouessac y Rouessac 2003).

La técnica por fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF) se basa en líneas generales, en el estudio de las emisiones de fluorescencia de rayos X que se producen después de la excitación de una muestra mediante una fuente de rayos X, colocada en un soporte (porta muestra) donde se produce el fenómeno de reflexión total.

Sucede que los átomos que se encuentran en la muestra de análisis son excitados y así los electrones de las capas internas son arrancados o promocionados a niveles de energía superiores. Por lo tanto los electrones de otras capas disminuyen su energía ocupando los huecos electrónicos que quedan libres y la energía asociada a dichas transiciones se reemite en forma de fotones.

A estas emisiones se les conoce como emisiones de fluorescencia o radiación

secundaria y presentan energías características del átomo que las genera además con una intensidad que depende directamente de la concentración de dicho átomo en la muestra (Rouessac y Rouessac 2003).

El resultado es un espectro de dispersión de energía donde aparecen simultáneamente todas las líneas asociadas a los elementos químicos presentes.

Analizando la posición de los máximos de intensidad, se identifican los elementos presentes (análisis cualitativo), integrando cada uno de los perfiles elementales (Área bajo el pico) se obtiene proporciones másicas y añadiendo un elemento patrón de concentración conocida se obtiene la cuantificación de dichos elementos (análisis cuantitativo) (Rouessac y Rouessac 2003).

Con la TXRF se puede realizar análisis cualitativo y cuantitativo de 75 elementos comprendidos entre el Si ($z = 14$) y el U ($z = 92$) tanto a nivel de mayoritarios (% wt), como elementos traza (ppb). Esta técnica es efectiva para realizar análisis de muestras líquidas y sólidas, previa molienda y suspensión o mediante una digestión ácida previa. No presenta efectos de matriz ni de ampliaciones, es una técnica microanalítica: para realizar análisis cualitativo o de proporciones másicas las cantidades de muestras que se requieren se encuentran en el orden de los microlitros (μl) en el caso de líquidos y de los microgramos (μg) para los sólidos.

Cuando es un análisis cuantitativo convencional es necesario una cantidad mínima de 1 ml de muestra líquida y 10 mg de muestra sólida (Rouessac y Rouessac 2003).

2.6.8 Ventajas de la Técnica Analítica de Fluorescencia de rayos x.

Sus ventajas son: La preparación de la muestra es muy simple básicamente requiere homogeneidad; se puede analizar todos los elementos que poseen números atómicos mayores que el Aluminio; presenta límites de detección más bajos para elementos pesados, en el rango de unas pocas partes por millón (ppm); los procedimientos analíticos son bastante simples y automatizados; costo relativamente

bajo del instrumental basado en la excitación con fuentes radioisotópicas (Rouessac y Rouessac 2003).

2.7. Muestreo.

Cuando se realiza una medición analítica, el factor que genera confianza al investigador es la calidad de la muestra. Es por eso de fundamental importancia el proceso de muestreo, preparación y almacenamiento de la muestra, preservación o previo tratamiento al análisis.

Cuando se trata muestras ambientales para hacer mediciones con la técnica analítica de fluorescencia de rayos x, se debe tomar muy en cuenta que sea representativa y los siguientes principios: “La muestra tomada del sistema debe tener exactamente la misma composición química como el material original; la probabilidad de ser seleccionada de una total población debe ser igual para cada individuo” (Internacional Atomic Energy Agency, IAEA 1997).

2.7.1 Consideraciones básicas de la muestra.

Es de mucha importancia, para una muestra el evitar su contaminación y algunas volatizaciones de componentes químicos y otras pérdidas de los elementos durante su transporte y almacenamiento, su tamaño debe ser razonablemente grande, agregando las cuentas de fluctuaciones estacionales en la composición del material original y otros parámetros influenciando esta composición (temperatura, humedad etc.) (Internacional Atomic Energy Agency, IAEA 1997).

2.7.2 Procedimientos físicos simples de la preparación de la muestra.

Básicamente la preparación de la muestra consta de pasos como es el secado, homogenizado, ceniza, pulverizado, y digestión húmeda algunas veces cortes de secciones del material etc. todo depende de su naturaleza sin embargo cualquier método utilizado en la preparación siempre requiere de un cuidadoso control para

garantizar su calidad, así como preparación simultánea de muestra blanco (Internacional Atomic Energy Agency, IAEA 1997).

2.7.3 Contaminación de la muestra.

La contaminación podría darse por diferentes razones, como es la presencia de trazas y otros elementos durante el muestreo, operación y ambiente del muestreo, polvo en el aire, las herramientas, contaminación de las paredes de los recipientes, por reactivos.

Algunas medidas para evitar contaminación por aire es el tener una zona limpia, contar con flujo laminar de banco de aire, guantes limpios, herramientas no metálicas, muestras frescas a temperatura. 4°C, su almacenamiento previo debe ser a temperatura abajo de 18°C, usar materiales de teflón, polietileno de alta presión y cuarzo sintético (Internacional Atomic Energy Agency, IAEA 1997).

2.7.4 Secado de muestras.

La fase de secado de una muestra es necesaria para eliminar las proporciones variables de humedad, debe ser una temperatura de entre 100°C a 105°C por tiempo de dos horas hasta alcanzar peso constante.

Después de secado, sigue la fragmentación o molido para lo que es recomendable el uso de fragmentadores de rellenos de platos de porcelana y evitando así una posible contaminación de materiales de acero. La muestra debe ser reducida a tamaño más conveniente (Internacional Atomic Energy Agency, IAEA 1997).

2.7.5 Descomposición de muestras sólidas.

Cuando se trata de disolver muestras sólidas se utiliza generalmente como solventes el agua, ácido clorhídrico y ácido nítrico, etc. ya sea diluido o concentrado, caliente o frío. Aunque no se dispone de un procedimiento único para descomposición debido a la variedad y complejidad de muestras a analizar (Navarrete y Varian 1990).

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Ubicación geográfica y descripción de la zona en estudio.

El Estero Jaltepeque se encuentra situado en los Departamentos de La Paz y San Vicente, entre los cantones: San Francisco, El Porfiado, El Llano, Los Blancos, San Sebastián, El Chingo, La Calzada, Guadalupe La Zorra, San José de la Montaña y San Rafael Tasajera.

Esta situado a una altitud que se extiende entre los 0 a 22 m.s.n.m y se aglutina en el área de Escuintla, El Astillero, Isla Tasajera, Isla la Calzada (Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental, PREPAC 2005).

El área total de la cuenca del estero es de 934.2 km² en los 13°20'00" y 13°21'15" latitud norte y los 88° 48'45" y 89°00'30" longitud oeste, tiene un espejo de agua igual a 15 km², no existen tierras fluctuantes (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Recursos Naturales Renovables, MAG- DGRNR 1998) (Fig. 1).

Es un estuario de 17 Km de longitud y 1,500 metros de ancho. Se ubica entre las desembocaduras de los ríos Jiboa y Lempa, Departamentos de la Paz y San Vicente.

Posee un sistema de cañones y brazos angostos, de 15 Km de longitud los cuales dan origen a una serie de islas de manglar, la profundidad máxima del canal principal, la alcanza en su parte superior y es de 10 metros (Tejada 2004 citada en PREPAC 2005).

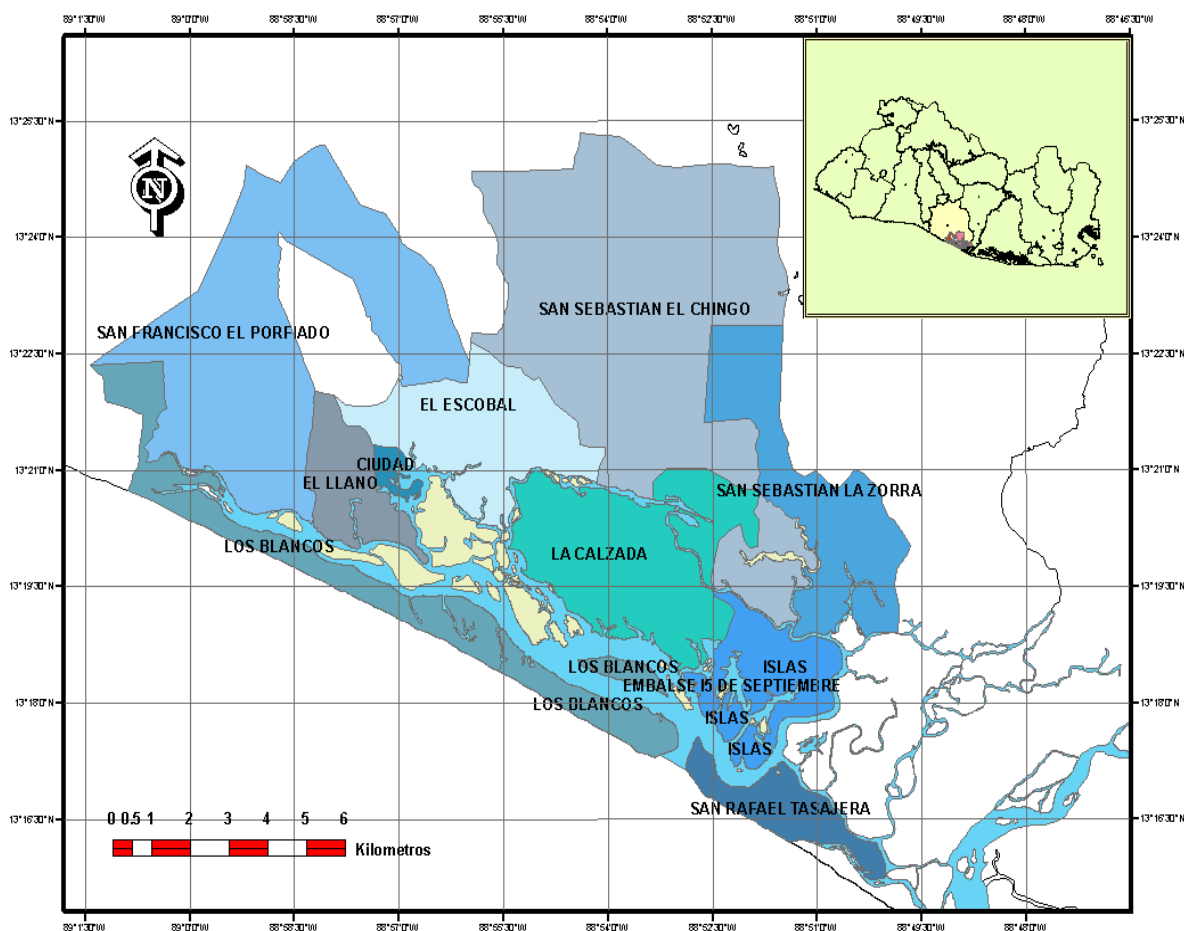


Fig. 1. Mapa de ubicación del Estero de Jaltepeque, Departamento de La Paz. Se observan sus cañones, canales de marea y principales bocanas. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

El Estero de Jaltepeque está propuesto como Área Natural Protegida dentro del Complejo Jaltepeque. El complejo a su vez forma parte del Corredor Biológico OMEGA.

3.2 Características Biofísicas.

3.2.1 Zona de vida

Holdridge (1982) clasifica el sector del Estero de Jaltepeque como bosque Húmedo subtropical, la cual constituye el 85.6% de la superficie del territorio, que se extiende desde la cadena volcánica hasta las planicies costeras.

3.2.2 Tipo de vegetación.

La cuenca del Estero de Jaltepeque presenta vegetación típica de bosque de planicie costera, algunas especies predominantes son: “maquilishuat” (*Tabebuia rosea*), “flor de mayo” (*Plumeria rubra*), “cojón” (*Thevetia ovata*), “conacaste” (*Enterolobium cyclocarpum*), “polvo de queso” (*Albizzia spp.*), “ceiba o ceibón” (*Ceiba pentandra*), “bonete” (*Luehea candida*), “caulote” (*Guazuma ulmifolia*) y “amates” (*Ficus spp.*) (Reyna *et al.*, 1996 citada en PREPAC 2005).

El estero cuenta con una extensa zona de bosque de manglar que en las zonas externas del bosque y a las orillas de los canales presenta las siguientes especies: “mangle colorado” (*Rhizophora mangle*), “mangle rojo” (*Rhizophora racemosa*), “sincahuite” (*Laguncularia racemosa*) y “mangle negro” (*Avicennia bicolor*), en las zonas internas del manglar, donde los suelos se encuentran más consolidados, se encuentra “botoncillo” (*Conocarpus erectus*) y “madre sal” (*Avicennia germinans*) (Tejada 2004, citada en PREPAC 2005).

3.2.3 Fauna.

Entre las especies hidrobiológicas, de interés comercial que están presentes en el Estero de Jaltepeque se encuentran: peces, crustáceos y moluscos.

Entre los peces cabe mencionar: “tiburón punta” (*Carcharhinus spp*), “tiburón pico blanco” (*Nasolamia velox*), “tiburón martillo” (*Sphyrna spp*), “sardina” (*Lile stolifera*), 3 especies de “bagres” (*Arius spp.*), (*Bagre panamensis*), (*Sciades troschely*), “róbalo” (*Centropomus spp.*), “jurel” (*Caranx hippos*), 2 especies de “pámpano” (*Carangoides spp.*), (*Trachinotus spp.*) 2 especies de “pargo” (*Lutjanus aratus*), (*Lutjanus spp.*), 2 especies de “mojarra” (*Diapterus spp.*) (*Eucinostomus spp.*), “roncador” (*Haemulon spp.*), “ruco” (*Pomadasys spp*) etc. (PREPAC 2005).

Entre los crustáceos se cuenta con: 3 especies de “camarón blanco” (*Litopenaeus stylirostris*), (*Litopenaeus occidentales*), (*Litopenaeus*) (L.) (*Vannamei*),

“punche” (*Ucides occidentales*), “cangrejo azul” (*Cardisoma crassus*), 2 especies de “jaibas” (*Callinectes acuminatus*), (*Callinectes toxotes*.) (PREPAC 2005).

Los moluscos presentes son los siguientes: “curil” (*Anadara tuberculosa*), “curililla” (*Anadara similis*), “casco de burro” (*Anadara grandis*), 2 especies de caracol (*Melongena sp*), (*Pseudostrobos sp.*), “almeja” (*Chione spp.*) y “mejillón” (*Mytilus guyanensis*) (PREPAC 2005).

Según informe climatológico de 2003 proporcionado por SNET los valores de promedio anual de precipitación son de 1.242 mm; humedad relativa 76% y temperatura ambiental de 26.4 °C.

El rumbo de los vientos es predominante del Norte, durante la estación seca y del Este/Sureste en la estación lluviosa; la brisa marina ocurre después del mediodía posteriormente es reemplazada por una circulación tierra-mar (rumbo Norte/ Noroeste) después de la puesta del sol. La velocidad promedio anual es de 8 Km/h (PREPAC 2005).

3.3 Fase de campo.

3.3.1 Ubicación y Selección de las estaciones de muestreo.

El estudio se llevó a cabo entre los meses de enero a mayo del 2008, se realizaron 5 viajes al Estero de Jaltepeque , el primero para ubicar las estaciones de muestreo, empleando una unidad de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y la hoja Cartográfica 2455 Desembocadura del río Lempa a escala de 1:50,000.

Los 4 viajes restantes fueron para realizar la colecta de las muestras del molusco perteneciente a el genero *Anadara tuberculosa* “curil”.

En los manglares generalmente se observa variaciones de salinidad desde las bocanas hacia lo largo de los canales de marea, notándose una disminución de la

salinidad del agua y del sustrato hacia el interior del estero o canal (Jiménez 1984).

Basados en lo anterior, en el presente estudio se tomo en cuenta el efecto que este gradiente de salinidad pueda ejercer sobre la cantidad y calidad de micronutrientes acumulados en el tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

Para establecer las estaciones de muestreo, el manglar se estratifico de la siguiente manera: estrato externo, área de canales que bordea la bocana; estrato interno, zona de canales que recibe influencia directa de escorrentías continentales y el estrato intermedio entre los dos anteriores. En el estrato interno la estación de muestreo se ubicó en la isla Jamaica, en el estrato intermedio, en el monte Chacalín y en el estrato externo, en el monte Agüegüeto (Fig. 2).

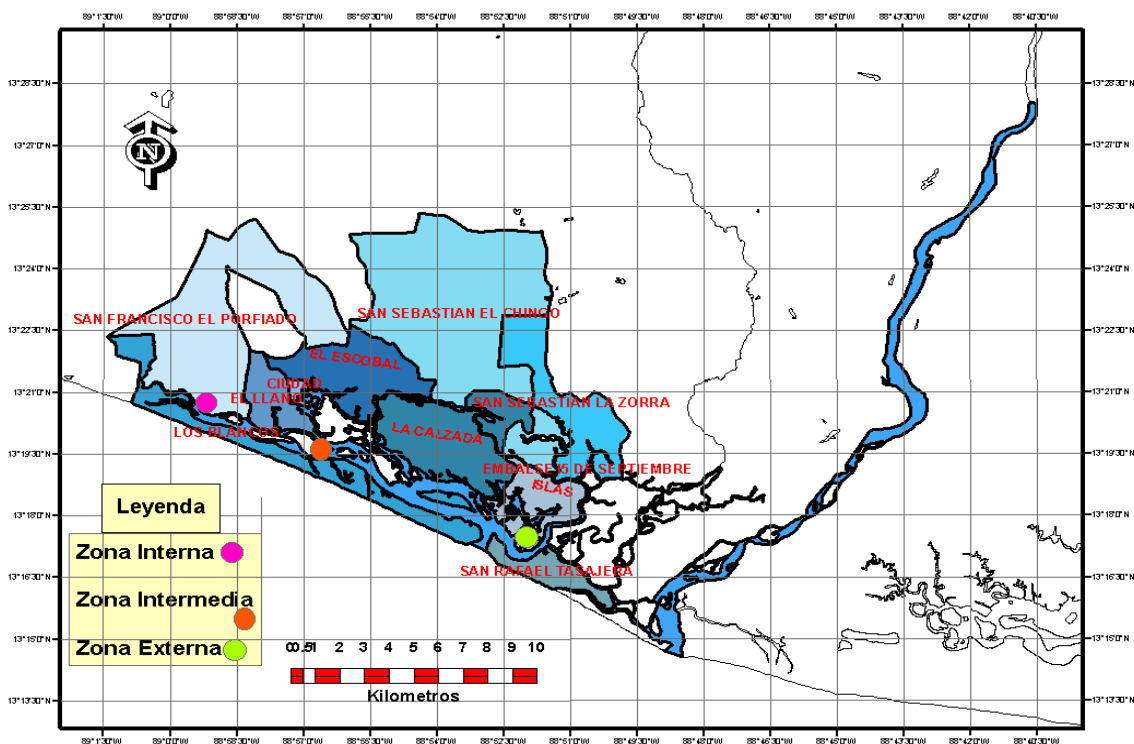


Fig. 2. Mapa de ubicación de las estaciones de muestreo, en los tres estratos dentro del manglar de Jaltepeque. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Zona interna corresponde a la estación Isla Jamaica, zona intermedia a la estación Monte Chacalín y la zona externa a la estación del Monte Agüegüeto.

3.3.2 Colecta de la muestra.

Los viajes de colecta se realizaron mensualmente, entre los meses de febrero a mayo del 2008. En cada estación de muestreo se colectaban de 12 a 13 especímenes de *Anadara tuberculosa*, el volumen total de tejido blando extraído de los especímenes en cada estación, constituía una sola muestra, para analizar en el laboratorio.

Para la colecta de las muestras, en cada estación se establecieron parcelas de 10 metros cuadrados, metodología propuesta por Ogden (1994) y se extraían 12 individuos de *Anadara tuberculosa* talla mínima comercial de 45 mm, establecida legalmente por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, JICA 2002).

No fue posible establecer sub parcelas de 1m², debido a que para extraer los animales, los curileros se mueven de una forma totalmente aleatoria, palpando el sedimento alrededor de las raíces de mangle, antes de hacer la extracción. Cuando no detectan la presencia del curil, se mueven rápidamente, para aprovechar las horas de marea baja (Fig. 3).

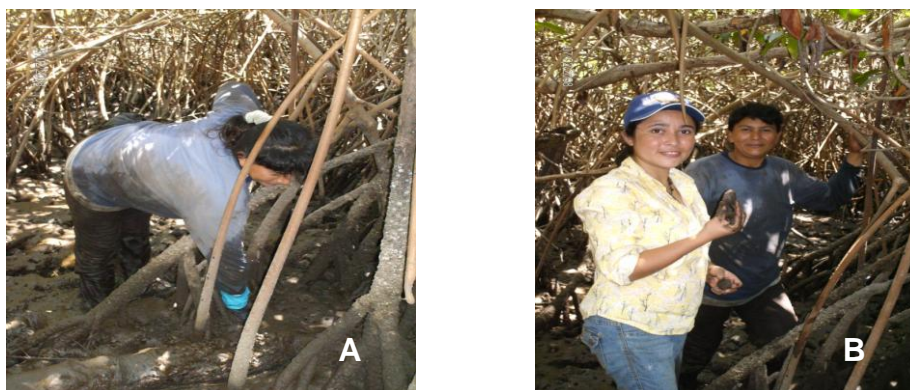


Fig. 3. A. Colecta de los curiles, realizada por señora extractora, B. Muestra de curil

En cada una de las estaciones de muestreo, también se hicieron mediciones de, salinidad y pH del agua intersticial, haciendo uso de un refractómetro óptico marca Atago y papel pH litmus, de marca Merck, respectivamente.

Los curiles colectados en cada estación de muestreo se depositaron dentro de bolsas estériles de polietileno. Las bolsas se identificaron con números que fueron referenciados en el orden correlativo con el que se registraban en la hoja de colecta.

Posteriormente los curiles fueron llevados al laboratorio de Ficología de la Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador.

3.4 Fase de laboratorio.

El trabajo de laboratorio se desarrolló en dos fases, la primera consistió en llevar los curiles al laboratorio de ficología en donde se procedió a lavarlos con agua del grifo para eliminar sedimento; posteriormente los tejidos blandos fueron separados de las valvas y se colocaron en unos frascos de vidrio esterilizados debidamente etiquetados respetando los códigos asignados previamente.

Las pruebas de fluorescencia de rayos X se hicieron en el laboratorio del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, (CIAN-FIA) de la Universidad de El Salvador.

Mensualmente se obtenían tres muestras de tejido blando de *Anadara tuberculosa*, las cuales se llevaban al CIAN – FIA, para seguir el proceso que se describe a continuación.

3.5 Aplicación de la técnica de rayos X por reflexión total.

El proceso comenzaba con la toma del peso de cada muestra, utilizando una balanza analítica marca Mettler Toledo. Los pesos de las muestras frescas de todas las fechas de colecta fueron los siguientes: Para el muestreo de febrero, el peso de la muestra de Monte Agüegüeto fue de 129.5678 g, muestra de Monte Chacalín 126.3826 g, muestra de Isla Jamaica 123.1967 g; en el muestreo de marzo, el peso de la muestra de Monte Agüegüeto fue de 128.4312 g, muestra de Monte Chacalín 121.4752 g, muestra de Isla Jamaica 124.1594 g; en el muestreo de abril, el peso de la muestra de

Monte Agüegüeto fue 121.9748 g, muestra de Monte Chacalín 126.7170 g, muestra de Isla Jamaica 108.8191 g; en el muestreo de mayo, el peso de la muestra de Monte Agüegüeto fue 125.5710 g, muestra de Monte Chacalín 128.2444 g, muestra de Isla Jamaica 124.0743 g .

Después el tejido se colocaba en cápsulas de porcelana rotuladas y secaban a una temperatura de 75 °C en una estufa convencional marca Fisher Scientific por un tiempo de once horas, tiempo durante el cual era necesario moverlas para que el secado fuera uniforme.

Una vez extraída toda el agua de los tejidos, se pulverizaron utilizando mortero y pistilo de porcelana hasta homogenizar el tamaño de las partículas. El polvo era pesado y almacenado en viales de polietileno debidamente enviñetados (Fig. 4).



Fig. 4. A: Secado del tejido blando en estufa convencional, B: Molido de los tejidos secos, C: Muestras pulverizadas en viales de polietileno.

3.6 Digestión ácida:

A cada muestra de tejido blando se le realizó la digestión ácida de la matriz biológica. La digestión ácida consistió en tomar 0.1 gramo del pulverizado de cada una de las tres muestras agregándole 4ml de ácido Nítrico (HNO_3) concentrado, el cual actúa como un agente oxidante para la descomposición de la matriz biológica. Luego se le agregó 0.8 ml de peróxido de Hidrógeno y se depositaba en bombas de digestión debidamente enviñetadas y se agitaba suavemente de forma manual. Finalmente se dejaba reposar por una hora (Fig. 5, Anexo 1).



Fig. 5. A: Pesado de la muestra molida, B: Muestras en vasos de teflón para la digestión ácida.

Pasada la hora de reposo, las muestras se colocaron dentro de un horno de microonda marca O.I. Analytical, por espacio de 20 minutos, para su digestión, con la finalidad de eliminar la materia orgánica. Cuando las bombas de digestión se retiraron del horno, la solución ya estaba digerida, conteniendo los elementos de interés para el análisis (Fig. 6).



Fig. 6. A: Instalación de los tubos de teflón para sujetar muestras, B: Muestras colocadas dentro de horno microondas, para su digestión ácida.

La muestra digerida se depositaba en un vaso de precipitado, al que se le agregaba la solución de Estándar de Galio (Ga) con una micropipeta de 20 μ l. La muestra se transfiere a un balón volumétrico de 10 ml, aforándolo con agua destilada. Luego se almacenaron las muestras en viales esterilizados para su posterior análisis.

3.7 Preparación de muestra a analizar.

Se tomaron 10µl de las muestras y colocaron en el centro de un disco porta muestra, luego se seco bajo la luz de un reflector por 30 minutos. Previo a colocar la muestra en disco porta muestra se verifico la ausencia de elementos químicos contaminantes en el disco, sometiéndolo a análisis por fluorescencia de rayos X (Fig.7).

Después de secar la muestra se obtuvo una muestra de espesor delgada (micrómetros de espesor). Cada muestra se colocó en el módulo de reflexión total de fluorescencia de rayos X, y se realizó la recolección del espectro de cada muestra. Al final de este proceso se obtuvo un total de 28 espectros, las cuales fueron identificados y almacenados con un código que contenía la siguiente información: Abreviatura de la especie en estudio, número de muestra, mes de colecta, año de muestreo, número de medición en muestra o repetición de medición en muestra (Fig. 7, anexo 2).

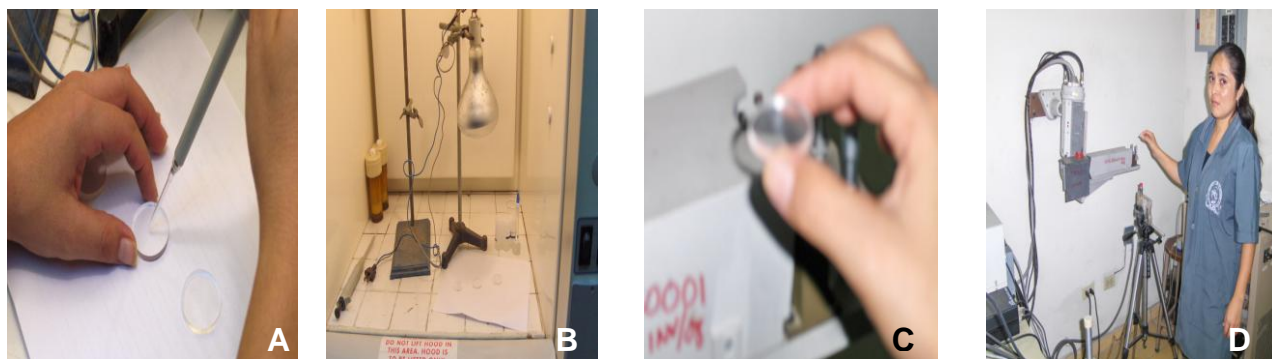


Fig.7. A: Muestra digerida en el centro de cuarzo, B: Muestras secándose bajo la luz de un reflector, C: Muestra seca, lista para aplicar fluorescencia de rayos x, D: Muestra colocada en detector de rayos x.

3.8 Análisis de Fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF).

3.8.1 Espectrómetro TXRF.

En la Técnica analítica de Fluorescencia de rayos X por reflexión total, se utilizó un generador de rayos X (marca SIEMENS, modelo KRISTALLOFLEX 760) con un tubo de rayos X con ánodo de Molibdeno. Las condiciones de operación fueron de 45 kilowats (kv) y 15 mili Amperios (mA).

3.8.2 Análisis cualitativo.

Los discos de cuarzo que contenían las muestras de tejido blando de *Anadara tuberculosa* digeridas y secas, se irradiaban con un haz de RX, generando vacantes en los orbitales (K, L, M, N) y al mismo tiempo el espectro característico de la muestra bajo análisis.

El detector de RX que se utilizó fue de Silicio (Pin) enfriado con celda Peltier y su electrónica asociada (preamplificadores y amplificadores, Fuente de alto voltaje, Analizador Multi Canal).

Para cada muestra de *Anadara tuberculosa* se generó un espectro en el que se identificaron los elementos Manganeseo (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) (micronutrientes) que son los elementos de interés en esta investigación. También se identificó Potasio (K), Calcio (Ca) (macronutrientes) y Bromo (Br). Cada elemento se identifica por su energía característica, por ejemplo el Zinc tiene una energía de 8.63 keV, (kilo electrón voltio), el Cobre 8.01 keV, Calcio 3.63 keV, etc.

3.8.3 Análisis Cuantitativo.

El análisis cuantitativo consta de dos pasos:

1- Análisis de espectro y determinación de áreas, que consiste en la determinación de las áreas de los fotopicos presentados en los espectros de cada muestra.

2- Cálculo de las concentraciones de los elementos presentes en las muestras en partes por millón.

El método aplicado en esta investigación fue el análisis de fluorescencia de rayos X por Reflexión Total. Para realizar este análisis, se debe identificar los elementos presentes en la muestra, por medio del espectro colectado, e identificar las energía de cada pico del espectro, utilizando las tablas de energías de emisión fluorescente K, L.

3.8.3.1 Análisis de espectros y determinación de áreas utilizando programa AXIL y QXAS.

Los espectros obtenidos para cada muestra se procesaron con el software AXIL para determinar las áreas bajo los fotopicos, mediante los cuales se determinaron los elementos Fe, Zn, Cu, Mn, (micronutrientes); K, Ca (macronutrientes) y Br.

A partir de las áreas determinadas se calculó la concentración de los elementos presentes en la muestra, para ello se utilizó el software de cuantificación QXAS (Quantitative X-Rays Analysis System), el cual tiene diferentes programas de cálculo de concentraciones en relación a las características de la muestra.

Para la cuantificación de los micronutrientes Fe, Zn, Cu, Mn, se utilizaron estándares de extracto de tejido blando de almeja que permitieron elaborar una curva de sensibilidades para determinar las concentraciones de las muestras de tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

3.8.3.2 Cálculos de las concentraciones de los elementos presentes en las muestras en partes por millón.

Las sensibilidades o eficiencias de cada elemento presente en el estándar fueron calculadas y guardadas en un archivo, las cuales se utilizaron, para el cálculo de las concentraciones de los elementos presentes en las muestras de conchas.

El programa de cuantificación utilizó las sensibilidades obtenidas a partir del estándar (o estándares) y también las intensidades obtenidas de los elementos Fe, Zn, Cu, Mn, (micronutrientes) K, Ca (macronutrientes) y Br presentes en la muestra en estudio, obteniéndose al final del proceso las concentraciones de los elementos de la muestra analizada. Las concentraciones pueden expresarse en $\mu\text{g/g}$, mg/g o porcentaje en peso, esto dependerá del nivel de concentración de cada elemento.

Se calculo para cada concentración de los elementos del grupo de

micronutrientes y macronutrientes la incertidumbre asociada a cada medición, prevaleciendo la incertidumbre generada por el software que en la cuantificación incluye parámetros como: Geometría de la medición, producción de fluorescencia de rayos X, etc. Lo que implica una incerteza cercana al 10% de cada medición, este valor de incertidumbre predomina sobre otras fuentes.

3.9 Análisis de los datos.

Para conocer los valores promedio de las concentraciones de los micronutrientes identificados se usaron tablas porcentuales y la media aritmética. Se aplicó la fórmula siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{N}$$

Donde:

\bar{X} = La media de valores (concentración de micronutriente).

Σ = Suma de valores (valores de concentración de micronutriente para cada fecha y estación de muestreo).

X_i = Variable en estudio (concentración en ppm, de micronutriente en tejido blando).

N = Numero de datos (total de valores de concentración de micronutriente para cada muestra de acuerdo a fecha y estación de muestreo).

Con el propósito de conocer, la relación existente entre las concentraciones de micronutrientes en tejido blando de *Anadara tuberculosa* con los gradientes salinidad y pH, se aplicó la distribución Ji – Cuadrada (X^2) con prueba de homogeneidad. Para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Donde:

X^2 = Ji cuadrada.

Σ =Suma de valores.

O_i = Frecuencia observada de la realización de un acontecimiento determinado.

E_i = Frecuencia esperada.

Se trabajó con $v = 6$ (grados de libertad) y $\alpha = 0.05$ (nivel de significación). Estos valores de Ji –Cuadrada calculados para cada estación de muestreo, se compararon con el valor de 12.59 del cuadro de distribución de Ji –Cuadrada correspondiente a seis grados de libertad con el nivel de significación de 0.05.

IV. RESULTADOS

4.1 Determinación de micronutrientes en tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

4.1.1 Análisis cualitativo de tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

Mediante el análisis de los espectros obtenidos en el sistema de medición de fluorescencia de rayos X, se logró determinar la presencia de cuatro micronutrientes Fe, Cu, Zn y Mn en el tejido blando de *Anadara tuberculosa*. Aunque no eran objeto de estudio en la presente investigación, a través de esta técnica también fue posible identificar dos macronutrientes K y Ca, los cuales son muy importantes en el funcionamiento del cuerpo humano (tabla1).

Además, se utilizó Ga como estándar interno en la muestra y se detectó la presencia de Br que es un elemento presente en agua de mar. También en el análisis, aparecen componentes de suelo como son: Estroncio (Sr), Circonio (Zr).

Tabla 1. Elementos presentes en las muestras de *Anadara tuberculosa*, en las tres estaciones de muestreo: Monte Agüegüeto, Monte Chacalín e Isla Jamaica.

Elemento	Monte Agüegüeto.	Monte Chacalín	Isla Jamaica
Hierro	Mi	Mi	Mi
Cinc	Mi	Mi	Mi
Cobre	Mi	Mi	Mi
Manganeso	Mi	Mi	Mi
Potasio	Ma	Ma	Ma
Calcio	Ma	Ma	Ma
Bromo	N Nut	N Nut	N Nut
Estroncio	N Nut	N Nut	N Nut
Circonio	N Nut	N Nut	N Nut

Mi = Micronutriente

Ma = Macronutriente

N Nut= No Nutriente

El total de espectros obtenidos de las diferentes muestras fue de 28, para efectos ilustrativos y demostrativos a continuación se presenta uno de estos espectros (Fig. 8).

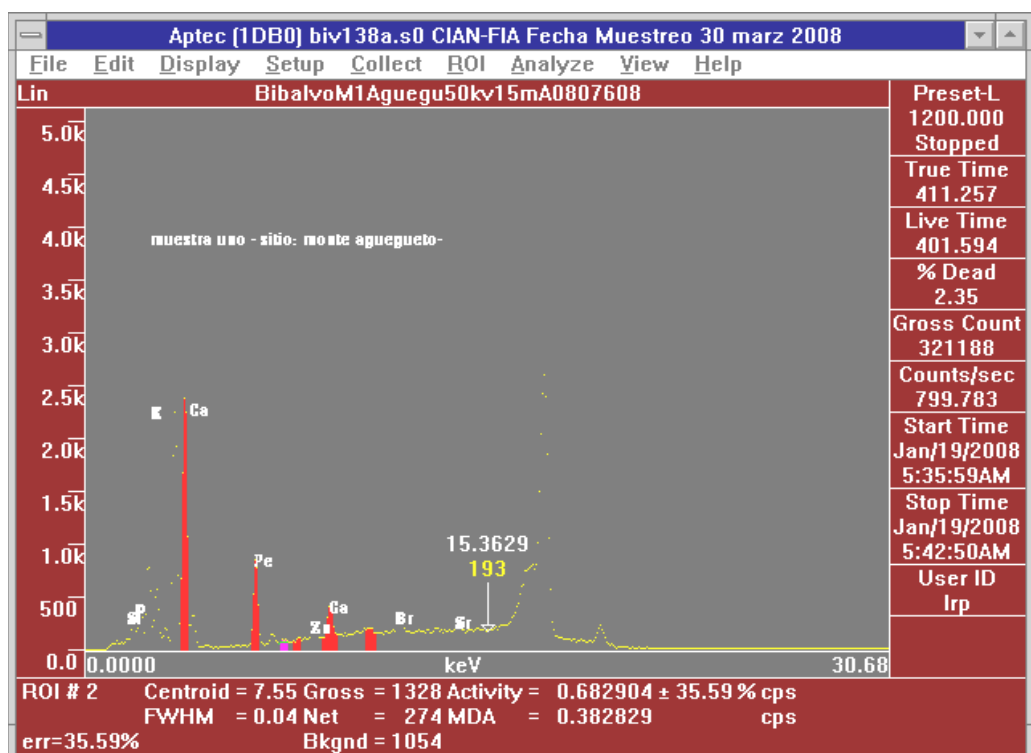


Fig. 8. Espectro con sus líneas espectrales que identifican los micronutrientes Fe, Zn, Cu, Mn de la muestra de *Anadara tuberculosa* correspondiente a Monte Agüegüeto, del mes de marzo.

4.1.2 Análisis cuantitativo de micronutrientes y macronutrientes en tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

4.1.2.1 Análisis de espectros y determinación de áreas utilizando programa AXIL y QXAS.

Debido a que el programa AXIL realiza los cálculos de las áreas de los fotopicos y guarda los datos de forma automática en un archivo, no es posible describir en detalle el procedimiento para llegar a los resultados obtenidos, Los datos de las áreas bajo cada fotopico son retomados de inmediato por el software de cuantificación QXAS (Quantitative X-Rays Analysis System), para ser utilizados en el siguiente paso del análisis de cada muestra.

4.1.2.2 Concentraciones de los elementos presentes en las muestras en partes por millón.

Utilizando el software de cuantificación QXAS (Quantitative X-Rays Analysis System), se obtuvieron las concentraciones en ppm juntamente con sus incertezas de los siete elementos identificados en cada una de las muestras de las estaciones de muestreo. Algunas de las muestras se midieron en forma repetida, para efecto de análisis estadístico de los datos obtenidos (Anexo 3).

4.1.2.3 Análisis de los datos.

A los valores de las diferentes mediciones de las concentraciones en ppm con las incertezas de los micronutrientes Fe, Cu, Zn, Mn y de los macronutrientes Ca y K así como el elemento Br, en las muestras de *Anadara tuberculosa* obtenidos por el software de cuantificación QXAS (Quantitative X-Rays Analysis System) se les aplicó la media aritmética obteniendo sus valores promedio e incertezas promedio. Para cada estación de muestreo se obtuvo diferentes concentraciones de los nutrientes (Tabla 2, fig. 9).

Tabla 2. Promedios de las concentraciones en ppm de micronutrientes, macronutrientes y Br de las tres estaciones muestreadas.

Monte Agüegüeto				
Elemento	Promedio de concentración en ppm para el mes de Febrero	Promedio de concentración en ppm para el mes de Marzo	Promedio de concentración en ppm para el mes de Abril	Promedio de concentración en ppm para el mes de Mayo
K	14498± 193	16242± 212	12902± 214	15141±209
Ca	3223± 137	5511 ± 161	2497± 122	2187±116
Mn	5. 87 ± 0. 86	2. 47 ± 0. 65	3. 21 ± 1. 00	4. 76 ± 0. 72
Fe	185 ± 2. 6	192. 7 ± 2. 9	218. 81 ± 2. 88	203± 2.0
Cu	15. 3 ± 1. 40	6. 77 ± 1. 2	11. 3 ± 1. 3	6. 14 ± 1.0
Zn	53. 9 ± 2. 2	58. 8 ± 2. 2	46. 7 ± 2. 3	63. 3 ± 1. 7
Br	130. 7 ± 5.1	152. 3 ± 4. 80	102. 1 ± 4. 66	205. 9 ± 4. 7
Monte chacalín				
Elemento	Promedio de concentración en ppm para el mes de Febrero	Promedio de concentración en ppm para el mes de Marzo	Promedio de concentración en ppm para el mes de Mayo	
K	14157 ± 187	17409 ± 280	14987. ± 204. 50	
Ca	2293. 8 ± 118. 9	4557. 5 ± 164	2086. 2 ± 118	
Mn	6. 43 ± 0. 62	8. 0 ± 1. 5	4. 3 ± 0. 7	
Fe	159. 50 ± 2.0	224. 2 ± 4.0	174. 5 ± 2. 3	
Cu	6. 73 ± 1.0	11. 9 ± 2. 1	5. 6 ± 1.0	
Zn	51. 2 ± 1. 6	79. 9 ± 3. 7	55. 97 ± 1. 94	
Br	150. 6 ±4.0	171. 0 ± 8. 0	129. 3 ± 4. 8	
Isla Jamaica				
Elemento	Promedio de concentración en ppm para el mes de Febrero	Promedio de concentración en ppm para el mes de Marzo	Promedio de concentración en ppm para el mes de Abril	Promedio de concentración en ppm para el mes de Mayo
K	11888. 23 ± 220. 17	19034. 78 ± 268. 5	14768. 8 ± 259. 8	14790. 0 ± 229. 1
Ca	2291. 53 ± 96. 47	4365. 0 ± 167. 9	2589. 09 ± 146. 96	2375. 81 ± 119. 65
Mn	2. 91 ± 0. 59	7. 82 ± 0. 8	5. 01 ± 0. 86	4. 38 ± 0. 68
Fe	145. 78 ± 1. 90	239. 20 ± 3. 0	145. 7 ± 2. 0	191. 17 ± 3. 46
Cu	10. 00 ± 1. 08	5. 28 ± 1. 05	5. 28 ± 0. 9	10. 52 ± 1. 61
Zn	57. 20 ± 1. 74	70. 9 ± 2. 2	51. 04 ± 2.0	51. 13 ± 2. 69
Br	150. 85 ± 4. 4	264. 4 ± 5. 5	136. 99 ± 4. 26	152. 3 ± 7. 4

K, Ca = Macronutrientes. Mn, Fe, Cu, Zn = Micronutrientes. Br = Elemento

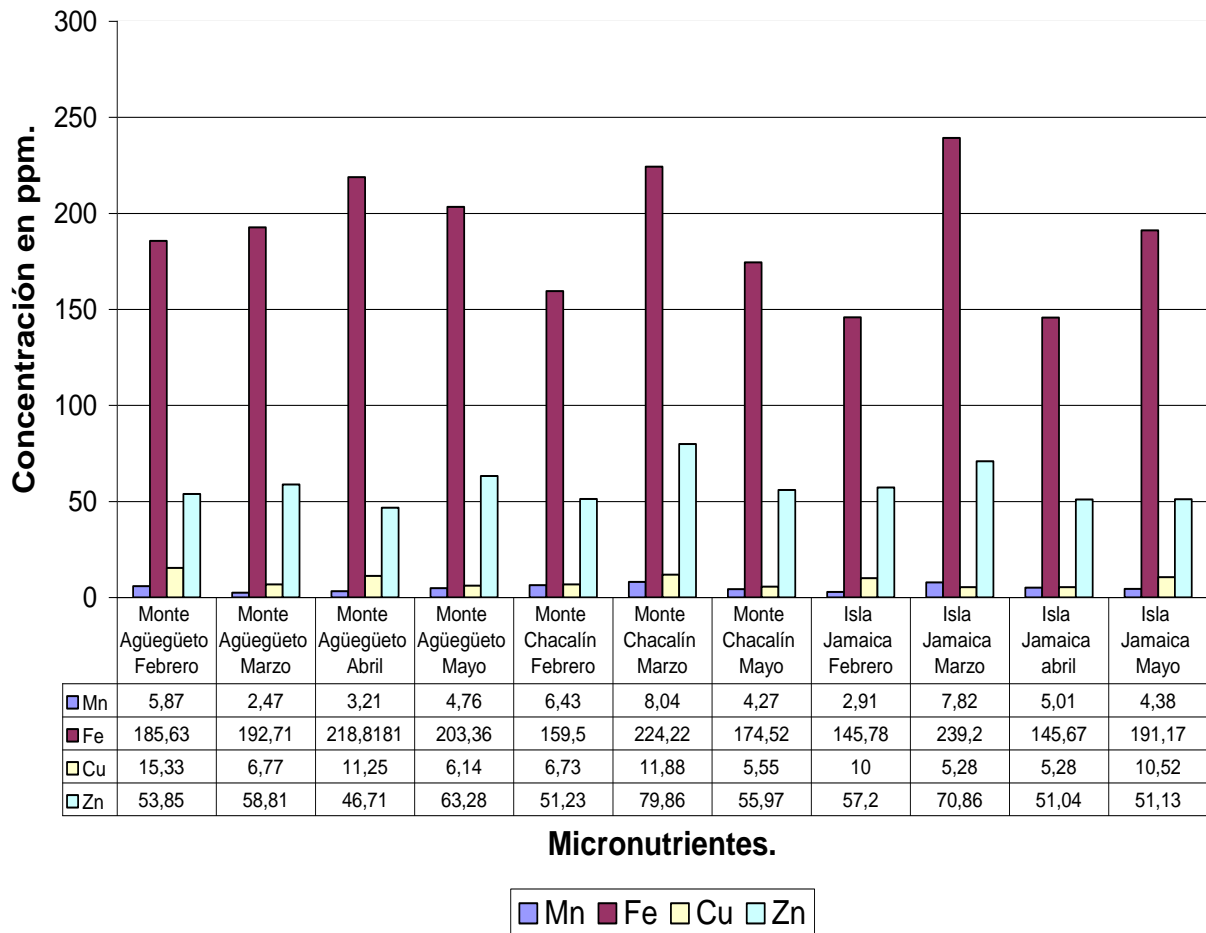


Fig. 9. Comparación de concentraciones en ppm de los micronutrientes presentes en las tres estaciones de muestreo, correspondientes a cada fecha de colecta (2008).

4.1.2.4 Descripción detallada de la concentración de micronutrientes, macronutrientes y Br en muestras de tejido blando de *Anadara tuberculosa* de Monte Agüegüeto (zona externa).

En relación a las concentraciones de micronutrientes identificados en las muestras de *Anadara tuberculosa*, en Monte Agüegüeto, se obtuvieron los siguientes promedios con sus incertezas.

Para el mes de febrero, los valores promedios de las concentraciones, de micronutrientes identificados fueron: Mn 5.87 (\pm 0.86), Fe 185 (\pm 2.6), Cu 15.3 (\pm 1.40) y Zn 53.9 (\pm 2.2). En marzo, los valores promedios fueron los siguientes: Mn 2.47 (\pm

0.65), Fe 192.7 (± 2.9), Cu 6.77 (± 1.2) y Zn 58.8 (± 2.2) y para el mes de abril, los valores promedios de las concentraciones, fueron: Mn 3.21 (± 1.00), Fe 218.81 (± 2.88), Cu 11.3 (± 1.3), Zn 46.7 (± 2.3) (Fig. 10).

Los valores promedios de las concentraciones, de los micronutrientes para el mes mayo fueron los siguientes Mn 4.76 (± 0.72), Fe 203 (± 2.0), Cu 6.14 (± 1.0), Zn 63.3 (± 1.7) (Fig. 10).

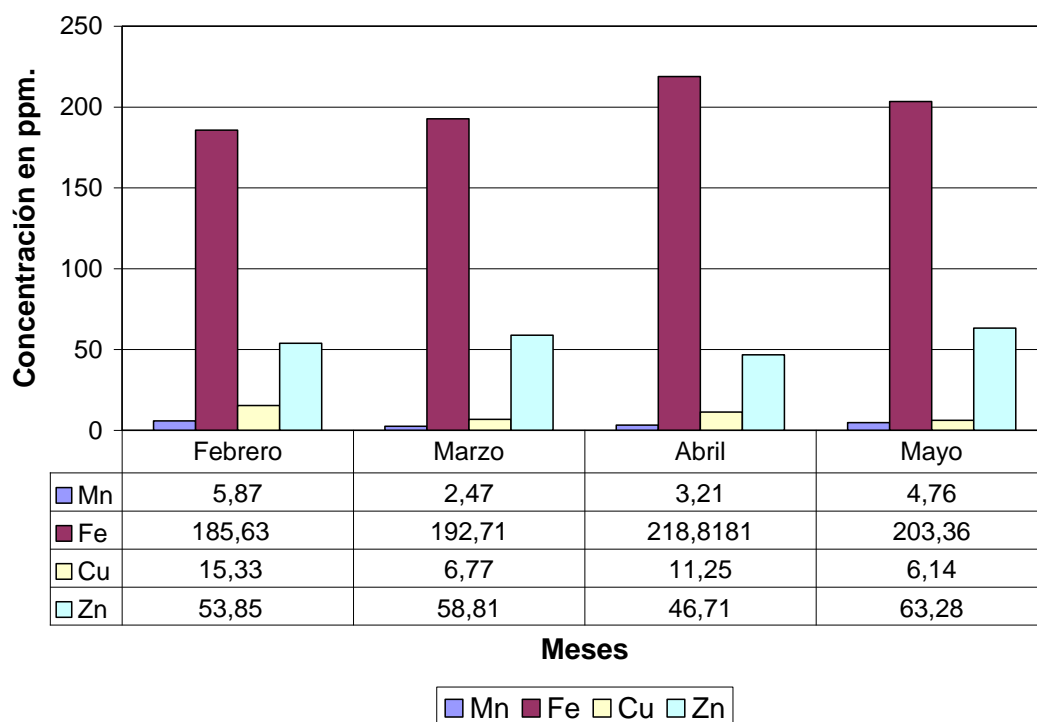


Fig.10. Concentraciones en ppm de los micronutrientes presentes en la muestra de Monte Agüegüeto, correspondiente a las cuatro fechas de colecta.

En cuanto a las concentraciones de macronutrientes y el Br identificados en las muestras de *Anadara tuberculosa*, se obtuvieron los siguientes promedios con sus incertezas.

Para el mes de febrero, los valores promedios de las concentraciones, de los macronutrientes y el elemento Br identificados fueron: K 14498 (± 193), Ca 3223 (± 137)

y Br 130.7 (\pm 5.1). En marzo las concentraciones fueron las siguientes: K 16242 (\pm 212), Ca 5511 (\pm 161) y Br 152.3 (\pm 4.80). En tanto que para el mes de abril, los valores obtenidos fueron K 12902 (\pm 214), Ca 2497 (\pm 122) y Br 102.1 (\pm 4.66) (Fig. 11).

Por otra parte en mayo los valores promedios de las concentraciones, de los macronutrientes y el elemento Br identificados fueron: K 15141 (\pm 209), Ca 2187 (\pm 116) y Br 205.9 (\pm 4.7) (Fig. 11).

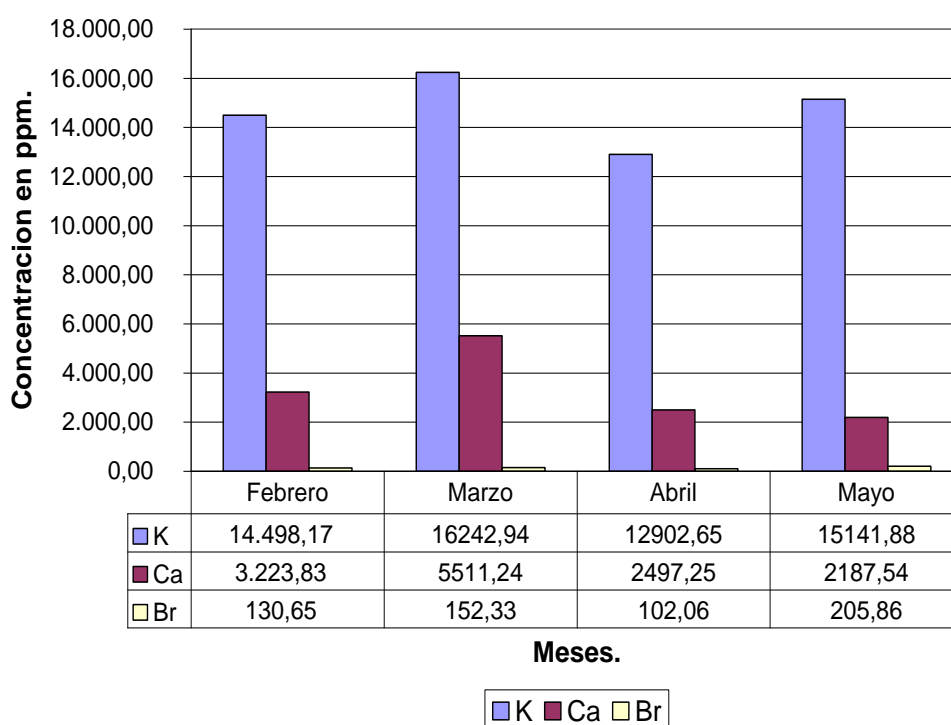


Fig.11. Concentraciones en ppm de los macronutrientes y Br, presentes en la muestra de monte Agüegüeto, correspondiente a las cuatro fechas de colecta.

4.1.2.5 Descripción detallada de la Concentración de micronutrientes, macronutrientes y Br en muestras de tejido blando de *Anadara tuberculosa* de Monte Chacalín (zona intermedia).

Con respecto a las concentraciones de micronutrientes identificados en las muestras de *Anadara tuberculosa*, se obtuvieron los siguientes promedios con sus incertezas.

En el mes de febrero, se obtuvieron los siguientes valores promedios de las concentraciones, de los micronutrientes: Mn 6.43 (\pm 0.62), Fe 159.50 (\pm 2.0), Cu 6.73 (\pm 1.0), Zn 51.2 (\pm 1.6). Para el mes de marzo, se obtuvo los valores promedios siguientes: Mn 8.0 (\pm 1.5), Fe 224.2 (\pm 4.0), Cu 11.9 (\pm 2.1), Zn 79.9 (\pm 3.7).

En abril, los datos que se obtuvieron fueron irregulares, esto se debió posiblemente a mala manipulación de la muestra, lo que implicó no poder reportarlos como datos experimentales. Mayo, sus valores promedios fueron: Mn 4.3 (\pm 0.7), Fe 174.5 (\pm 2.3), Cu 5.6 (\pm 1.0), Zn 55.97 (\pm 1.94) (Fig. 12).

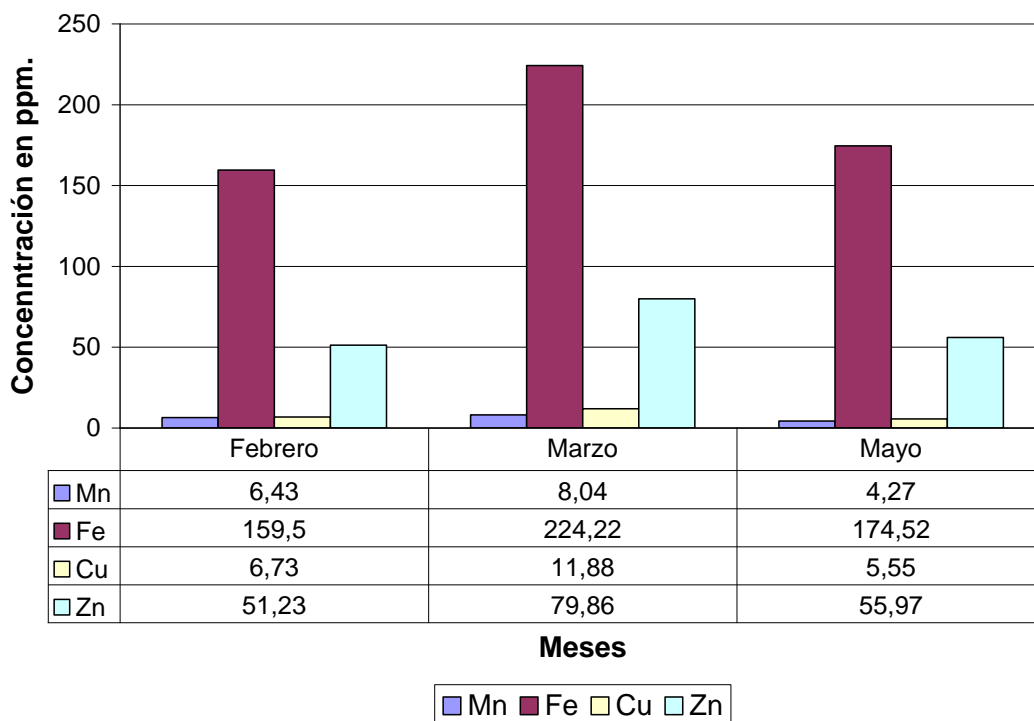


Fig.12. Concentraciones en ppm de los micronutrientes presentes en la muestra de monte Chacalín, correspondiente a tres fechas de colecta.

En lo que corresponde a las concentraciones de macronutrientes y el Br identificados en las muestras de *Anadara tuberculosa*, se obtuvieron los siguientes promedios con sus incertezas.

Para el mes de febrero, los valores promedio de las concentraciones, de los macronutrientes y el elemento Br identificados fueron: K 14157 (± 187), Ca 2293.8 (± 118.9) y Br 150.6 (± 4.0). En marzo, los valores promedio fueron: K 17409 (± 280), Ca 4557.5 (± 164) y Br 171.0 (± 8.0). Por otra parte en mayo, los valores promedio de las concentraciones, fueron los siguientes: K 14987 (± 204.50), Ca 2086.2 (± 118) y Br 129.3 (± 4.8) (Fig. 13).

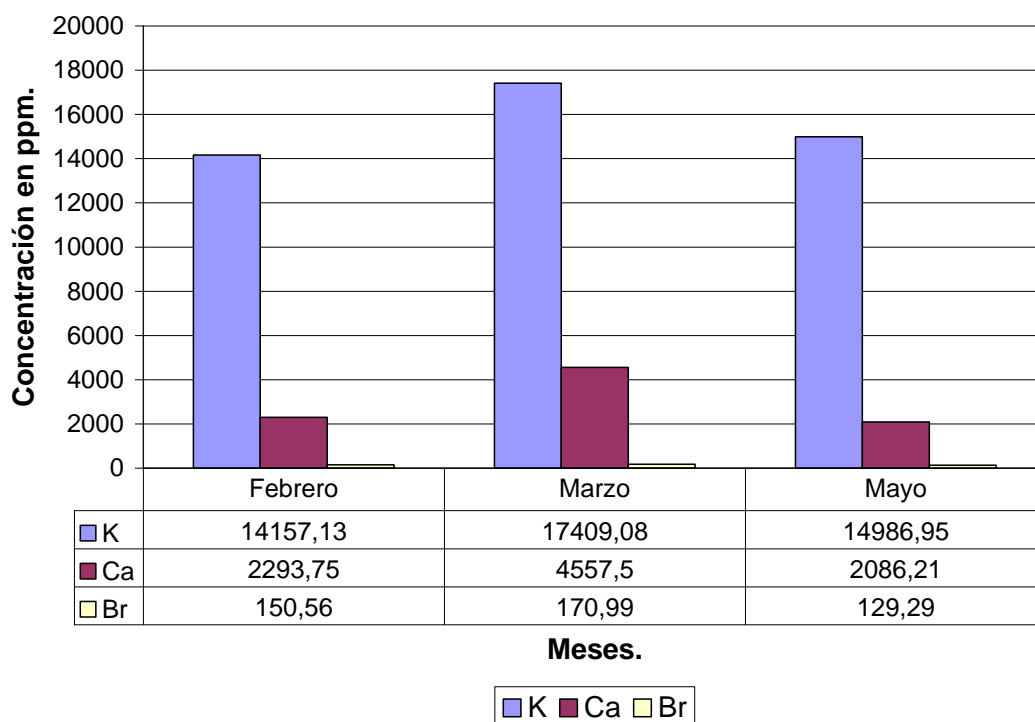


Fig.13. Concentraciones en ppm de los macronutrientes y Br presentes en la muestra de monte Chacalín, correspondiente a tres fechas de colecta.

4.1.2.6 Descripción detallada de la concentración de micronutrientes, macronutrientes y Br en muestras de tejido blando de *Anadara tuberculosa* de Isla Jamaica (zona interna).

En relación a las concentraciones de micronutrientes identificados en las muestras de *Anadara tuberculosa*, se obtuvieron los siguientes promedios con sus incertezas.

En el mes de febrero, se obtuvo los valores promedios de las concentraciones, de los micronutrientes identificados los cuales fueron Mn 2.91 (\pm 0.59), Fe 145.78 (\pm 1.90), Cu 10.00 (\pm 1.08), Zn 57.20 (\pm 1.74). Para el mes de marzo, se obtuvieron los siguientes valores promedios de las concentraciones: Mn 7.82 (\pm 0.8), Fe 239.20 (\pm 3.0), Cu 5.28 (\pm 1.05), Zn 70.9 (\pm 2.2). Por tanto en abril, se obtuvo los valores promedios de las concentraciones los cuales fueron: Mn 5.01 (\pm 0.86), Fe 145.7 (\pm 2.0), Cu 5.28 (\pm 0.9), Zn 51.04 (\pm 2.0) y en mayo se obtuvo los siguientes valores promedios de las concentraciones, de los micronutrientes Mn 4.38 (\pm 0.68), Fe 191.17 (\pm 3.46), Cu 10.52 (\pm 1.61), Zn 51.13 (\pm 2.69) (Fig.14).

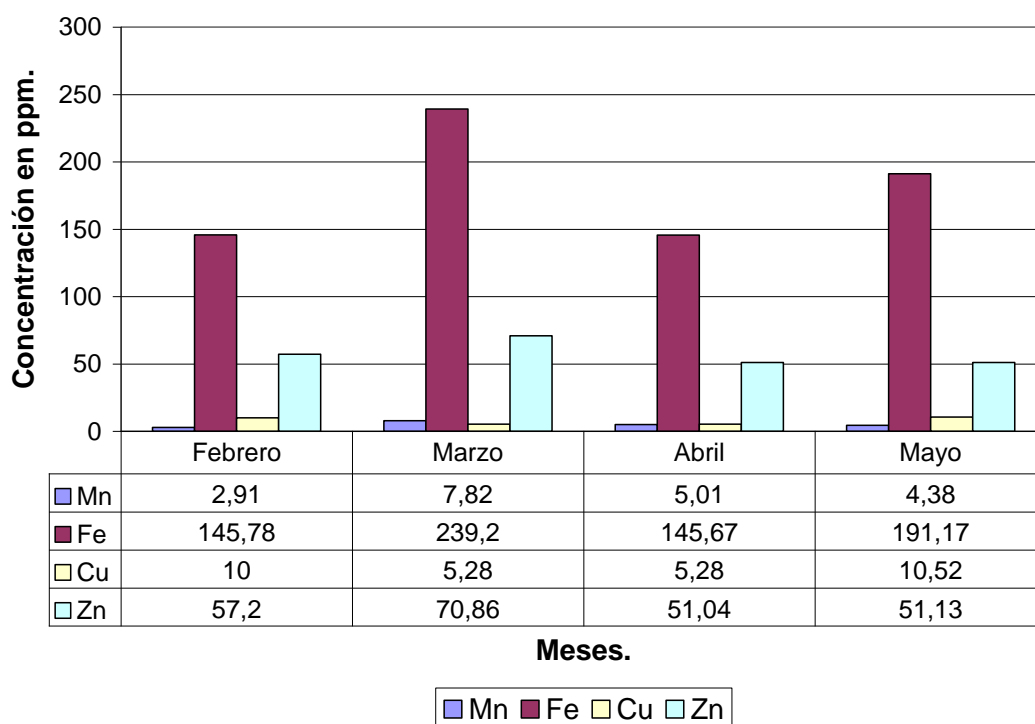


Fig.14. Concentraciones en ppm de los micronutrientes presentes en la muestra de Isla Jamaica, correspondiente a cuatro fechas de colecta.

En cuanto a las concentraciones de macronutrientes y el Br identificados en las muestras de *Anadara tuberculosa*, se obtuvieron los siguientes promedios con sus incertezas.

Para el mes de febrero, los valores promedios de las concentraciones, de los macronutrientes y el elemento Br identificados fueron: K 11888.23 (\pm 220.17), Ca 2291.53 (\pm 96.47) y Br 150.85 (\pm 4.4). En marzo, fueron los siguientes: K 19034.78 (\pm 268.5), Ca 4365.0 (\pm 167.9) y Br 264.4 (\pm 5.5). Con respecto al mes de abril: K 14768.8 (\pm 259.8), Ca 2589.09 (\pm 146.96) y Br 136.99 (\pm 4.26). Por tanto en el mes de mayo, los valores promedios fueron: K 14790.0 (\pm 229.1), Ca 2375.81 (\pm 119.65) y Br 152.3 (\pm 7.4) (Fig.15).

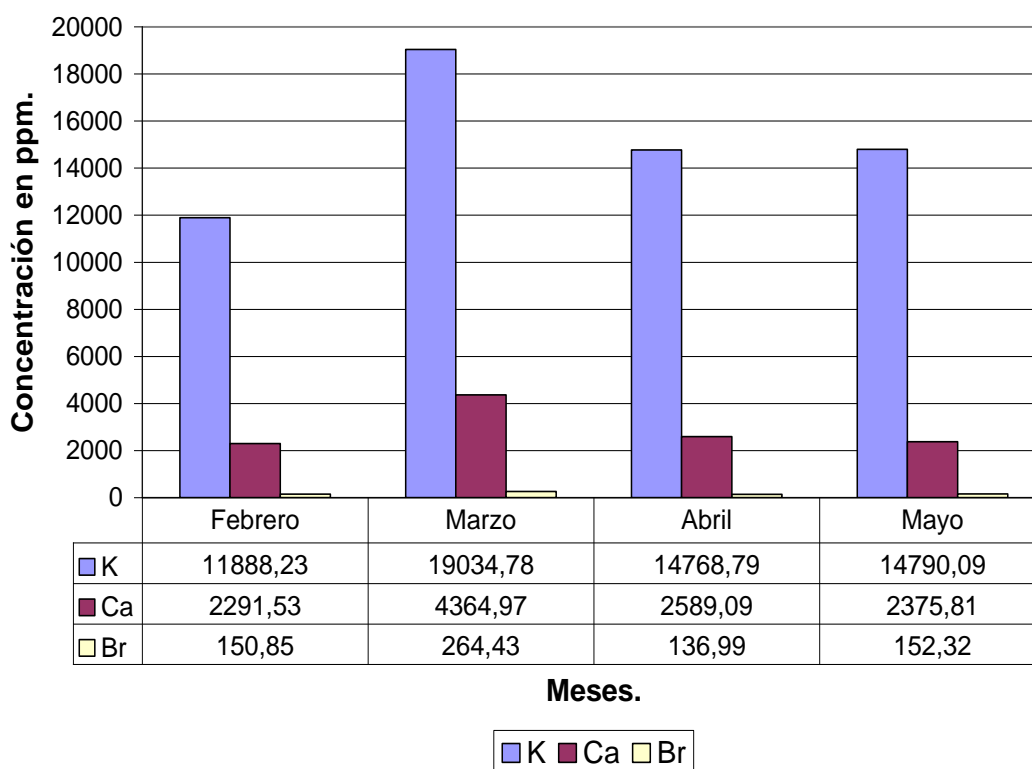


Fig.15. Concentraciones en ppm de los macronutrientes y Br presentes en la muestra de Isla Jamaica, correspondiente a cuatro fechas de colecta.

4.2 Resultados de las mediciones de salinidad del agua.

En Monte Agüegüeto los valores de salinidad obtenidos en partes por mil fueron para el mes de febrero, de 40, en marzo 28, en abril 38 y para el mes de mayo 32 ppm. Para Monte Chacalín los valores de salinidad fueron de 40 en los meses de

febrero, marzo y abril pero en mayo fue de 38 y en Isla Jamaica, se registraron salinidades de 32 en febrero; en marzo 40; abril 38 y en mayo 34 (Fig.16).

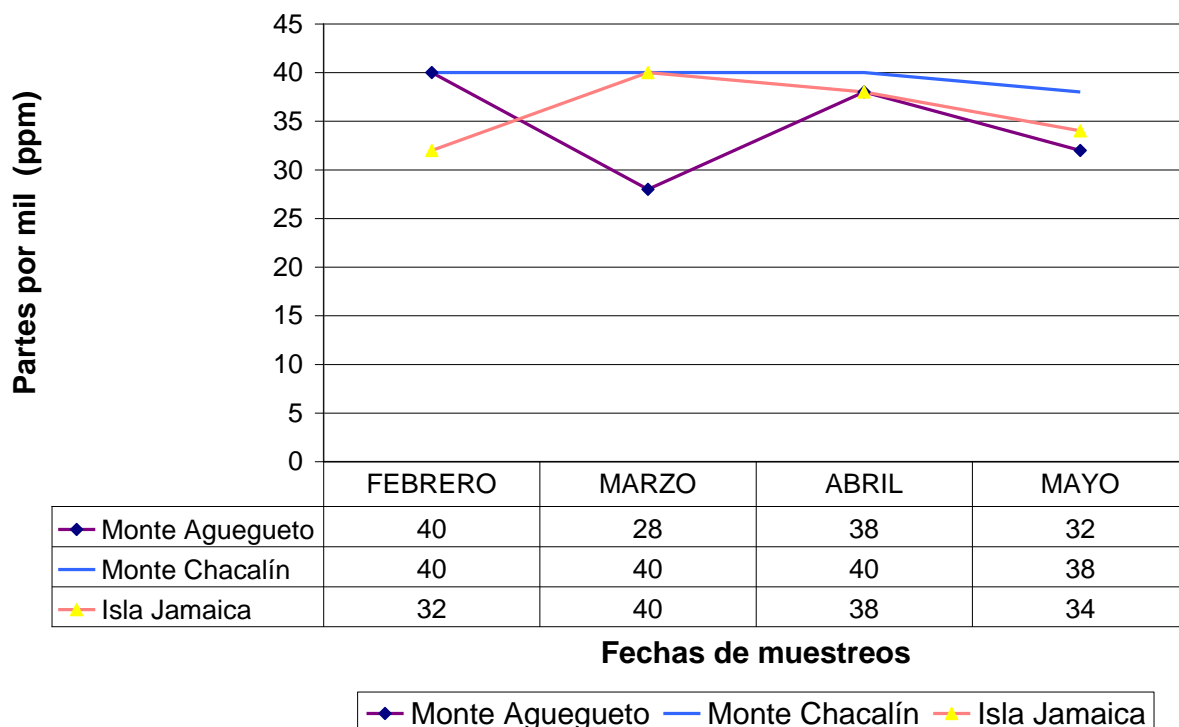


Fig.16. Salinidades que se registraron en las tres estaciones de muestreo, correspondiente a las diferentes fechas de colecta.

4.3 Resultados de las mediciones de potencial de Hidrogeno (pH) del agua.

En Monte Agüegüeto los valores de pH obtenidos para el mes de febrero hasta abril fueron de 8.5 y en mayo 8.17. Monte Chacalín, presenta el valor de pH de 8.0 para febrero y marzo; en abril 8.5 y en mayo 8.27. En Isla Jamaica, presenta el valor de pH de 8.0 para febrero y marzo; 8.5 en abril; y 8.22 en mayo (Fig.17).

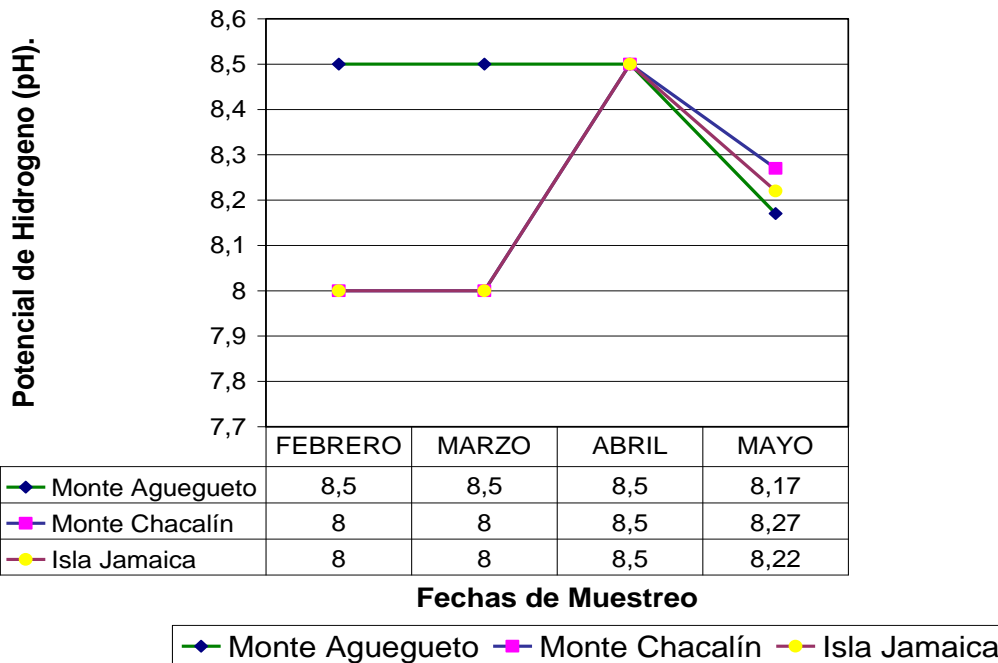


Fig.17. Valores de pH registrados en las tres estaciones de muestreo, correspondiente a las diferentes fechas de colecta.

4.4 Salinidad versus Concentración de micronutrientes en tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

Para determinar si la salinidad ejerce alguna efecto en las concentraciones de micronutrientes acumulados en los tejidos blandos de *Anadara tuberculosa* "curil". Se realizó la prueba de X^2 (Ji –Cuadrada) de homogeneidad. Para las tres estaciones de muestreo, los resultados obtenidos muestran que no existe relación de la salinidad con respecto a la concentración de los micronutrientes en el tejido blando de *Anadara tuberculosa* debido a que el valor de homogeneidad obtenido en Monte Agüegüeto fue de 0.37; en Monte Chacalín -0.04; en Isla Jamaica 4.56.

Estos valores de cada estación de muestreo, se compararon con el valor de 12.59 del cuadro de distribución de Ji –Cuadrada correspondiente a seis grados de libertad con el nivel de significación de 0.05.

4.5 pH versus Concentración de micronutrientes en tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

En las tres estaciones de muestreo, los resultados obtenidos muestran que no existe relación del pH con respecto a la concentración de los micronutrientes en el tejido blando de *Anadara tuberculosa* debido a que el valor de homogeneidad obtenido en Monte Agüegüeto fue de -0.06; en Monte Chacalín fue de 9.63; y en Isla Jamaica se obtuvo un valor de 9.61.

Estos valores de cada estación de muestreo, se compararon con el valor de 12.59 del cuadro de distribución de Ji –Cuadrada correspondiente a seis grados de libertad con el nivel de significación de 0.05.

V. DISCUSIÓN.

5.1 Determinación de micronutrientes en tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

En años recientes se han realizado estudios determinando cualitativa y cuantitativamente micronutrientes y macronutrientes presentes en tejidos blandos de especies marinas y de agua dulce.

En esta investigación se utilizó la fluorescencia de rayos X por reflexión total para la determinación de los micronutrientes Hierro, Cinc, Cobre y Manganeso y los macronutrientes Calcio y Potasio y el Bromo en el tejido blando del “curil” (*Anadara tuberculosa*) especie que en El Salvador posee gran valor comercial debido a la alta demanda para el consumo humano por un alto porcentaje de la población.

Rodríguez y Fernández (1968), Scrimshaw y Young (1976), citados por Angell (1996), estiman que el consumo de 6 curiles suministra concentraciones superiores a las necesarias en la dieta diaria de algunos elementos que cumplen ciertas funciones bioquímicas o fisiológicas específicas del cuerpo humano tales como el Hierro, Cobre, Yodo, Calcio, Magnesio, Fósforo, Selenio y Fluor, un décimo de proteínas y de vitaminas como la Tiamina, Riboflavina, Niacina y Vitamina A.

De acuerdo con los resultados obtenidos del tejido blando de “curil” *A. tuberculosa* del estero de Jaltepeque, esta especie contiene Fe, Cu, Zn, Mn, Ca, y K. Por el contenido de estos elementos en el tejido blando de *A. tuberculosa*, se puede inferir que esta especie representa una fuente de nutrientes que se podría utilizar con fines de consumo en la dieta diaria de los salvadoreños aportando los requerimientos nutricionales.

5.1.1 Comparaciones con otros estudios de contenido de micronutrientes y macronutrientes en tejido blando de *Anadara tuberculosa* y otras especies.

Siriprom *et al* (s.a) determinaron en el tejido blando de *Anadara granosa* micronutrientes y macronutrientes. Entre los micronutrientes los autores reportan Fe en

el rango de concentración de 0.106 wt% a 657 ppm; Zn de 77 a 84 ppm; Cu de 44 a 65 ppm; Mn de 140.0 a 328.0 ppm y para el macronutriente Ca con rango de concentración de 36.36 a 40.54 wt%.

Hungspreugs *et al* (1984) y Harun *et al* (2007) también determinaron Cu y Zn en la misma especie informando los siguientes rangos de concentraciones, para el Cu 1.88 a 2.07 $\mu\text{g g}^{-1}$ y para el Zn fue de 87.75 a 107.33 $\mu\text{g g}^{-1}$; Cu 6.89 (± 1.66) $\mu\text{g g}^{-1}$ y el Zn 96.0 (± 17.0) $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente. Los autores consideran las concentraciones en niveles suficientemente bajos y recomiendan la ingesta de este molusco por ser una especie muy popular que cuenta con una alta demanda en el consumo humano que le atribuye cierta importancia comercial.

Usero *et al* (2005) analizaron el tejido blando de dos bivalvos. En *Donax trunculus* obtuvieron un rango de concentración de 60 a 383 mg kg^{-1} para el Cu, de 56 a 152 mg kg^{-1} para el Zn. En la especie *Chamalea gallina* obtuvieron un rango de concentración de de 9.2 a 90 mg kg^{-1} para el Cu, de 63 a 92 mg kg^{-1} para el Zn 63 a 92 mg kg^{-1} . El propósito de este estudio fue obtener información cuantitativa de los elementos presentes en las dos especies de bivalvos los cuales son muy abundantes y altamente apreciados para el consumo humano.

Los resultados obtenidos en la presente investigación, demuestran que contenido nutritivo del tejido blando de *A. tuberculosa* es similar al tejido blando de *A. granosa* reportados por Siriprom *et al* (s.a) a pesar de que son especies diferentes. Sin embargo *A. granosa* no presento el macronutriente K, que se encontró en *A. tuberculosa*. Pero en relación con los informes de Hungspreugs *et al* (1984) y Harun *et al* (2007) solo estuvo presente el Cu y el Zn. No así en *A. tuberculosa* que además de Cu y Zn presento Fe, Mn, K y Ca.

El tejido blando de *A. tuberculosa*, además presento los macronutrientes Ca y K para las tres estaciones de muestreo. La presencia de estos elementos en el tejido blando de *A. tuberculosa* podría atribuirle cierta importancia para impedir la carencia de

minerales llamada hambre oculta (Organismo Internacional de Energía Atómica, IAEA 2005).

Los resultados obtenidos del tejido blando de *A. tuberculosa* al igual que los que informan Usero *et al* (2005), serán importantes como fuente de información de la calidad y cantidad nutritiva del tejido blando de *A. tuberculosa* debido a que no existen estudios al respecto sin embargo hay un buen porcentaje de la población que gusta de su consumo. Además serán muy útiles a la hora de potenciar cultivos controlados de esta especie tales que permitan mayor calidad en el producto sin riesgo para la salud y contribuir a la seguridad alimentaria del país. También permiten sugerir a la especie *A. tuberculosa* como un suplemento de nutrientes necesarios en la dieta diaria del organismo humano ya que la importancia de los nutrientes en el cuerpo humano se basa en sus múltiples funciones como lo señalan algunos autores.

Palencia (s.a) indica que el ser humano, necesita materiales para construir o reparar su propio organismo, además requiere de energía para hacerlo funcionar y reguladores que controlen ese proceso, tal es el caso de los micronutrientes. Para proporcionar al cuerpo estas sustancias requeridas, lo hace mediante la alimentación. La calidad de la alimentación conlleva a la nutrición definida como el conjunto de procesos involuntarios mediante los cuales el cuerpo humano incorpora, transforma y utiliza los nutrientes suministrados con los alimentos, para realizar sus funciones vitales.

(Murray *et al.*, 1988) sugieren que el ser humano requiere de la ingesta de micronutrientes en cantidades menores de 100 mg al día y los macronutrientes en cantidades mayores de 100 mg al día.

Por otra parte Konopka (1988) indica que las necesidades de nutrientes varían para cada individuo, de acuerdo con sus características y circunstancias particulares. Sin embargo, para simplificar la determinación de estas necesidades, se ha establecido lo que se denomina Cantidad Diaria Recomendada (CDR) o se conoce como Ingesta Diaria Recomendada (IDR), en inglés RDA (Recommended Dietary Allowance) y

sugiere que para el hombre la ingesta diaria debe de ser 10 mg de Hierro, 10 mg de Cinc, 3 mg de Manganeso, 2 mg de Cobre y para las mujeres 18 mg de Hierro, 20 mg de Cinc; 4 mg de Manganeso y 5 mg de Cobre.

5.2 Gradientes salinidad y potencial de Hidrogeno (pH).

5.2.1 Salinidad versus Concentración de micronutrientes en tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

La información relacionada con la influencia que ejerce el gradiente salinidad y potencial de Hidrogeno (pH) en la concentración de micronutrientes en los tejidos blandos de la especie en estudio es escasa, sin embargo Hungspreugs *et al.*, (1984) establecen que la salinidad del agua influyo en las concentraciones de Cu y Zn que obtuvieron en tejidos blandos de moluscos el “mejillón” *Perna viridis*, “ostra” *Crassostrea commercialis* y “coquina” *Anadara granosa* las cuales fueron suficientemente bajas. Concluyen en que los altos niveles de concentración fueron establecidos durante la estación lluviosa cuando la salinidad fue baja.

De acuerdo con los resultados obtenidos al aplicar la prueba de χ^2 (Ji – Cuadrada) de homogeneidad con nivel de significación de 0.05 y un valor de 12.59 del cuadro de distribución de Ji –Cuadrada correspondiente a seis grados de libertad, se comprobó no existe relación entre salinidad y la concentración de los micronutrientes en el tejido blando de *A. tuberculosa*.

5.2.2 Potencial de Hidrogeno (pH) versus concentración de micronutrientes en tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

En cuanto al efecto que ejerce el Potencial de Hidrógeno, Jacinto y Aguilar (2007) sostienen que el pH fue un factor que influyo en la biodisponibilidad de los micronutrientes Cu y Zn encontrados en los tejidos blandos de las especies que estudiaron y a su vez controló la forma química de cada nutriente.

Lobel y Wright (1982 citados por Olavarría 2007) mencionan que la incorporación activa de elementos en los tejidos de algunas especies se debe a la influencia de factores abióticos en el cual consideran el pH.

Tampoco se pudo establecer relación entre el pH y la concentración de micronutrientes en el tejido blando de *Anadara tuberculosa* al aplicar la prueba de χ^2 (Ji –Cuadrada) de homogeneidad. Cada uno de los valores de las estaciones de muestreo, se compararon con el valor de 12.59 del cuadro de distribución de Ji – Cuadrada correspondiente a seis grados de libertad con el nivel de significación de 0.05. Los resultados obtenidos muestran que no existe relación del pH con respecto a la concentración de los micronutrientes en el tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

VI. CONCLUSIONES.

La técnica analítica de fluorescencia de rayos X por reflexión total resulto muy útil para determinar cualitativa y cuantitativamente cuatro micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn) y dos macronutrientes (K, Ca) y el Br en el tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

Las concentraciones de Fe, Zn, Cu, Mn, K y Ca en el tejido blando de *Anadara tuberculosa* se consideran como nutrientes porque no alcanzan niveles tóxicos.

Por el contenido de Fe, Zn, Cu, Mn, K y Ca en el tejido blando de *Anadara tuberculosa*, se puede considerar una fuente de nutrientes y una alternativa complementaria de la dieta alimenticia de quienes la consumen.

La información generada por el presente estudio, será de mucha utilidad a la hora de potenciar cultivos controlados de esta especie. Además servirá de antecedentes para posteriores estudios.

La implementación de cultivos en condiciones controladas de *Anadara tuberculosa*, permitiría tener una mayor producción, de mejor calidad que haría posible recomendar el consumo de esta especie para suplir necesidades nutritivas para la dieta alimenticia y de esta manera evitar enfermedades producidas por deficiencia de minerales. También contribuirá a mejorar la calidad de vida de las personas que se dedican a esta actividad y formar conciencia del consumo de este recurso.

Al aplicar la prueba estadística de χ^2 (Ji –Cuadrada) de homogeneidad se pudo determinar que las concentraciones de micronutrientes y macronutrientes en el tejido blando de *Anadara tuberculosa* no se encuentran influenciadas por los gradientes salinidad y pH (potencial de Hidrogeno). Esto es consecuencia de que los datos de las mediciones de salinidad y pH para cada estación de muestreo, fueron bastante similares.

VII. RECOMENDACIONES.

Es necesario realizar otras investigaciones sobre la calidad y cantidad de micronutrientes de especies similares que sean de importancia comestible a partir de la técnica analítica de fluorescencia de rayos X ya que esta técnica resulto muy efectiva para este estudio.

La especie *Anadara tuberculosa* puede ser incluida como suplemento alimenticio en la dieta de los salvadoreños, ya que se determinó que es una especie que contiene micronutrientes Fe, Zn, Cu y Mn. Además contiene los macronutrientes K y Ca, minerales que tienen vital importancia en la salud humana.

Por su importancia comercial, sería necesario el darle más seguimiento a trabajar en el manejo de cultivos en todas las zonas donde se encuentre esta especie.

En estudios posteriores, se recomienda evaluar otras variables como ubicación geográfica, estación del año, características fisiológicas como peso corporal, diferencias fenotípicas, sexo, estado de reproducción etc. que puedan influir en la acumulación de micronutrientes en el tejido blando de *Anadara tuberculosa* y otras especies.

Es necesario realizar posteriores estudios ampliando el periodo de muestreo, ya que en esta investigación al aplicar la prueba estadística de χ^2 (Ji -Cuadrada) de homogeneidad se pudo determinar que no influyeron los gradientes salinidad y pH (potencial de Hidrogeno) en las concentraciones de micronutrientes y macronutrientes en el tejido blando de *Anadara tuberculosa*.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Acosta V. y C. Lodeiros. 2003. Índice ARN/ADN en poblaciones de la almeja *Tivela mactroides* (Bivalvia Veneridae) provenientes de localidades con diferentes niveles de contaminación. Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Departamento de Biología Pesquera, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente Cumana (Tesis para optar al grado de licenciado) 108 pp.
- Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). 2002. Estudio sobre el desarrollo de la pesca artesanal en El Salvador. Informe principal. Vol.1. 24 pp.
- Alonso K. R. 1996. La alimentación Mediterránea: Historia, Cultura y Nutrición. Editorial Icaria. Barcelona. 435 pp.
- Angell C. 1996. Informe final Consultoría sobre cultivo de conchas en El Salvador. Proyecto Protección del Medio Ambiente Salvadoreño (PROMESA). 20 pp.
- Arriola H. 1986. Monografía sobre espectroscopias nucleares. Unidad de investigaciones del Instituto regional de Toluca. México D. F. 50 pp.
- Barnes R. D. 1995. Zoología de los invertebrados. 5° edición, Nueva Editorial Interamericana S. A. de C. V. Mcgraw- Hill, México, D. F. 957 pp.
- Barnes R. D; y E. E. Ruppert. 1996. Zoología de los invertebrados. 6ª edición, Nueva Editorial Interamericana S. A. de C. V. Mcgraw- Hill, México, D. F. 1114 pp.
- De castro J. 1946. La alimentación en los trópicos. Fondo de Cultura Económica. México. 204 pp.
- Farber S. M. 1975. Nutrición adecuada y alimentos. Buenos Aires. Ediciones Marymar. 300 pp.

Fuentes M. V; I. L. Duran; J. A. Gómez. 2005. Variación de las concentraciones de Cadmio, Plomo y Cobre en los tejidos de *Anadara tuberculosa*. XI Congreso latinoamericano de Ciencias del Mar (COLACMAR XI).Escuela de Ciencias del Mar. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
Disponible en: www.alicmar.org/.../Medioambiente%20contaminacion%201.pdf –

Harun A; J. Sidi; A. Z. Aris. 2007. Heavy metals (Cd, Cu, Cr, Pb and Zn) in Meretrix meretrix Roding, water and sediments from Estuaries in Sabah, North Borneo. International Journal of environmental and Science Education. 69 – 74 pp.

Hernández M. A. 1996. Moluscos de El Salvador. Historia Natural y Ecológica de El Salvador. Tomo II F. Serrano (Ed.) Ministerio de Educación de El Salvador. 365 pp.

Holdridge L. D. 1982. Ecología basada en zona de vida, 5° reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, San José, Costa Rica. 216 pp.

Hungspreugs M. y C. Yuangthong. 1984. The present levels of heavy metals in some molluscs of the Upper Gulf of Thailand. Department of Marine Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand. 395 – 402 pp.

International Atomic Energy Agency (IAEA). 1997. Sampling, storage and sample preparation procedures for X ray fluorescence analysis of environmental materials. 52 pp.

International Atomic Energy Agency (IAEA). 2005. Estudio sobre la nutrición y el medioambiente relacionados con la salud.

Disponible en : <http://www.iaea.org/publicationsreports/Anrep2005/spanish/ar2005.sp.pdf>

- Jacinto M. E y S. Aguilar. 2007. Concentraciones traza de metales en especies marinas de la Bahía de Huarmey, Ancash, Perú. Rev. Perú. biol.14 (2):307-311 pp.
Disponible en: sisbib.unmsm.edu.pe/Bvrevistas/biología/v14n2/pdf/a24v14n2.pdf
- Jiménez J. A. 1984. Los manglares del Pacífico Centroamericano. Universidad Nacional. Instituto Nacional de Biodiversidad (InBio), Heredia Costa Rica EUFUNA, 336 pp.
- Konopka P. 1988. La alimentación del deportista. Deportes. Técnicas. Ediciones Martínez Roca, S. A. España. 198 pp.
- Krebs C. J. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. 2ª edición. Editorial Harla. México. 753 pp.
- Marshall A. J. y W. D. Williams. 1980. Zoología de Invertebrados. 7ª edición, Editorial Reverté S. A. 979 pp.
- McArdle W. D; F. I. Katch; V. L. Katch. 1995. Fisiología del ejercicio. Energía, nutrición y rendimiento humano. 1ª edición, Editorial Alianza, S. A. Madrid. 688 pp.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Recursos Naturales Renovables (MAG- DGRNR). 1998. Mapa de zonas de vida. Digitalizado por SIAMARN (Sistema de Información Ambiental -Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales).
- Morcillo J. 1981. Espectroscopia infrarroja. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Madrid, España. Monografía nº 12. 80 pp.
- Murray R. K; P. A. Mayes; D. K. Granner; V. W. Rodwell. 1988. Bioquímica de Harper.

11 edición, Editorial El manual moderno, S.A de C. V. México D. F. 713 pp.

Navarrete L. y S. A. Varian. 1990. Análisis de metales en materiales geológicos por Espectroscopia de absorción atómica. México. D. F. 149 pp.

Ogden J. C. 1994. Manual de métodos para el mapeo y monitoreo de parámetros físicos y biológicos en la zona costera del Caribe. Manual de métodos nivel I. Centro de manejo de datos CARICOMP. Center for marine Sciences University of the West Indies Mona, Kingston Jamaica y Florida Institute of oceanography University of South Florida St. Petesburg Florida, USA. 68 pp.

Olavarría Y. A. 2007. Determinación de trazas de Cadmio en cholga (*Aulacomya ater*), chorito (*Mytilus chilensis*) y ostra chilena (*Ostrea chilensis*) en la zona de Chiloé (Hueihue). Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. (Tesis para optar al grado de Químico Farmacéutico). 117 pp.

Disponible en: cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fco.42d/doc/fco.42d.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1990. Utilización de los alimentos tropicales: Productos animales. 55 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1995. Guía FAO para la Identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro- Oriental. Volumen 1. 646pp.

Palencia M. Y. (s.a). Claves para una buena alimentación. 7 pp. Disponible en: www.aeap.es/archivo/25e4cc988d7495f385c2e8a368c2710b.pdf

Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental, PREPAC. 2005. Inventario nacional de cuerpos de agua continental. El Salvador. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). 122 pp.

- Rouessac F. y A. Rouessac. 2003. Análisis Químico Métodos y Técnicas instrumentales Modernas. Teoría y ejercicios resueltos. 5º edición Editorial Mc Graw-hill/ Interamericana. 441 pp.
- Siriprom W; W. Onreabroy; P. Limsuwan.(s.a). A study of metal elements in *Anadara Granosa*. 33rd Congress on Science and Technology of Thailand. 5 pp.
- Snedaker S. C. y C. D. Getter. 1985. Pautas para el manejo de los recursos costeros. Publicación n°2 sobre Manejo de Costas. National Park service USD. U. S. Agency for Internacional Development. Research planning Institute, inc. 286 pp.
- Suman D. O. 1994. El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe, su manejo y conservación. Rosenstiel School of marine and atmospheric science. Universidad de Miami. 263 pp.
- Unión Mundial para la Naturaleza, UICN. 1993. Exploración y producción de petróleo y gas en los manglares. Gland. Suiza y Cambridge, Reino Unido, con el E & P forum, Londres, Reino Unido. 51 pp.
- Usero J; J. Morillo; I. Gracia. 2005. Heavy metal concentrations in molluscs from the Atlantic coast of southern Spain. Chemosphere. Department of Chemical and Environmental Engineering, University of Seville, Spain. 1175 – 1181 pp.
- Yañez-Arancibia A. 1986. Ecología de la zona costera. AGT editor, S. A. Progreso 202. Mexico, D. F. 189 pp.

ANEXOS

Anexo 1

Protocolo para la digestión de muestras biológicas con ácido Nítrico (HNO₃), tomado del Manual de usuario de Horno microondas, Microwave Digestión System, marca O.I. Analytical modelo 7295.

DIGESTIÓN ACIDA.

Las etapas de preparación de las muestras incluyen tratamientos como la mineralización de muestras biológicas mediante digestión ácida asistida por un microondas.

Digestión Ácida: Es el proceso mediante el cual la materia orgánica (tejidos biológicos) es sometida a la acción de ácidos fuertes o álcalis fuertes (bases) para reducirlos a su composición elemental o por lo menos a sustancias más simples.

Esta aplicación describe el procedimiento usado para preparar material de muestras de tejidos biológicos para la determinación de P (Fósforo), K (Potasio), Na (Sodio) etc. La muestra en esta aplicación es cuidadosamente digerida con un Sistema de Microonda Analítica (AMS) usando bombas de digestión y reactantes como el (HNO₃) ácido Nítrico y (H₂O₂) peróxido de Hidrogeno .

Las ventajas de las bombas de digestión son las siguientes: la digestión de muestra es en tiempo rápido, temperaturas hasta 250°C., presión hasta 1200 psi, Retención completa de elementos volátiles, libre de contaminación de metales. La acción agresiva de la digestión en las altas temperaturas y alta presión generada en las bombas resulta en tiempos cortos de digestión, con algunos materiales requiriendo la exposición de menos que unos minutos para obtener la completa digestión.

Por su diseño de alta presión, las bombas de digestión proveen a una acción mucho mas vigorosa que la que puede ser obtenida con digestión con microonda utilizando copas de contención abiertas, que son restringidas a bajas temperaturas y presiones

PROCEDIMIENTO.

Para la digestión de la muestra, se utiliza (HNO₃) ácido Nítrico (70%) y el peróxido de Hidrogeno (30%) como los reactantes en esta aplicación. Se debe enjuagar y limpiar todo el equipo con agua destilada.

El siguiente procedimiento esta prometido como referencia del punto de salida. La naturaleza de la matriz de la muestra puede requerir de modificación. Considere este procedimiento como un punto de salida para matrices similares.

1. Pesar 0.5 g de muestra seca y depositarla en un vaso de teflón PFA. Agregar 5 ml de (HNO₃) ácido Nítrico y 2 ml de peróxido de Hidrogeno, lavando abajo de cualquier muestra que puede adherirse a las paredes del vaso. Colocar el disco de seguridad sobre el vaso, asegurándose de que el disco este en su lugar y cubriendo el vaso.
2. Repetir este procedimiento hasta que el platillo giratorio de la digestión contenga todos los vasos. Verificar que los vasos estén igualmente colocados entre las cavidades del Horno Microondas.
3. Que el vaso control de la presión, este conectado al traductor de presión de la unidad de control. El vaso de control de presión debe ser colocado en la ranura más cercana a la puerta del Horno cuando se conectan la línea traductora en las opciones de control de presión.
4. La preparación del blanco debe de contener algunas cantidades de los reactivos (5 ml de (HNO₃) ácido Nítrico y 2 ml de peróxido de Hidrogeno) y 0.5 ml de agua.

5. Seleccione el modo control de presión para la lista del método WinWave, y el programa como sigue:

Etapa	Potencia (%)	Presión (PSI)	Tiempo programado (min)	Tiempo máximo (min)
1	30	20	2:00	5:00
2	30	40	5:00	6:00
3	30	60	2:00	3:00
4	30	80	2:00	3:00
5	50	100	2:00	3:00
6	60	120	2:00	3:00
7	70	140	15:00	16:00

Nota: Monitoree cuidadosamente la presión y no permita dejar la muestra sola para los primeros minutos. Ajuste rápidamente el porcentaje de potencia en la etapa inicial al aumento de la presión o el punto de la serie no se alcanzaría entre el tiempo deseado.

6. Dejar los vasos en un lugar con temperatura fresca. Abrir los vasos y transferir el contenido a un frasco volumétrico enjuagando los discos de seguridad y el vaso de teflón con agua destilada.

Anexo 2

Tabla conteniendo la Ubicación de estaciones de colecta, fecha de colecta y código asignado a cada uno de los 28 espectros de las muestras colectadas de *Anadara tuberculosa*.

Nº	Ubicación	Fecha de muestreo	Código de muestra
1	Monte Agüegüeto	Febrero de 2008	BIV1A028.SPE
2	Monte Agüegüeto	Febrero de 2008	BIV1A28B.SPE
3	Monte Agüegüeto	Febrero de 2008	BIV1B28A.ESP
4	Monte Agüegüeto	Febrero de 2008	BIV1B28B.SPE
5	Monte Agüegüeto	Marzo de 2008	BIV138A.SPE
6	Monte Agüegüeto	Marzo de 2008	BIV138W.SPE
7	Monte Agüegüeto	Abril de 2008	BIV148A.SPE
8	Monte Agüegüeto	Mayo de 2008	BIV158XA.SPE
9	Monte Agüegüeto	Mayo de 2008	BIV158XB.SPE
10	Monte Agüegüeto	Mayo de 2008	BIV158XC.SPE
11	Monte Chacalín	Febrero de 2008	BIV2A28A.SPE
12	Monte Chacalín	Febrero de 2008	BIV2A28B.SPE
13	Monte Chacalín	Febrero de 2008	BIV2B28A.SPE
14	Monte Chacalín	Febrero de 2008	BIV2B28B.SPE
15	Monte Chacalín	Marzo de 2008	BIV238A.SPE
16	Monte Chacalín	Marzo de 2008	BIV238W.SPE
17	Monte Chacalín	Mayo de 2008	BIV258XA.SPE
18	Monte Chacalín	Mayo de 2008	BIV258XB.SPE
19	Monte Chacalín	Mayo de 2008	BIV258XC.SPE
20	Isla Jamaica	Febrero de 2008	BIV328A.SPE
21	Isla Jamaica	Febrero de 2008	BIV328B.SPE
22	Isla Jamaica	Febrero de 2008	BIV328C.SPE
23	Isla Jamaica	Marzo de 2008	BIV338A.SPE
24	Isla Jamaica	Marzo de 2008	BIV338W.SPE
25	Isla Jamaica	Abril de 2008	BIV3A48A.SPE
26	Isla Jamaica	Abril de 2008	BIV3A48B.SPE
27	Isla Jamaica	Mayo de 2008	BIV3A58A.SPE
28	Isla Jamaica	Mayo de 2008	BIV3A58B.SPE

Anexo 3.

Tablas conteniendo mediciones de las concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de las muestras de *Anadara Tuberculosa*, de las tres estaciones de muestreo. Monte Agüegüeto de la A a la D, Monte Chacalín de la E a la G, Isla Jamaica de la H a la K.

Elemento	BIV1A028.ASR	BIV1A28B.ASR	BIV1B28A.ASR	BIV1B28B.ASR
K	15181.024 ± 193.671 ppm	14238.767 ± 194.797 ppm	14334.117 ± 191.017 ppm	14238.767 ± 194.797 ppm
Ca	3307.450 ± 125.133 ppm	3163.809 ± 141.979 ppm	3260.247 ± 140.997 ppm	3163.809 ± 141.979 ppm
Mn	4,696 ± 0.743 ppm	6.297 ± 0.904 ppm	6.182 ± 0.900 ppm	6.297 ± 0.904 ppm
Fe	187.563 ± 2.365 ppm	185.112 ± 2.629 ppm	184.718 ± 2.627 ppm	185.112 ± 2.629 ppm
Cu	14.420 ± 1.470 ppm	15.450 ± 1.322 ppm	15.977 ± 1.339 ppm	15.450 ± 1.322 ppm
Zn	54.092 ± 2.305 ppm	53.583 ± 2.153 ppm	54.128 ± 2.152 ppm	53.583 ± 2.153 ppm
Br	135.256 ± 4.225 ppm	128.297 ± 5.408 ppm	130.717 ± 5.327 ppm	128.297 ± 5.408 ppm

A. Mediciones de concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de Monte Agüegüeto en colecta de febrero.

Elemento	BIV138A.ASR	BIV138W.ASR
K	16372.798 ± 218.659 ppm	16113.073 ± 207.124 ppm
Ca	5567.953 ± 163.271 ppm	5454.533 ± 160.339 ppm
Mn	2.342 ± 0.653 ppm	<2.589 ppm
Fe	208.238 ± 2.796 ppm	177.167 ± 2.937 ppm
Cu	8.280 ± 1.160 ppm	5.246 ± 1.198 ppm
Zn	58.218 ± 2.103 ppm	59.401 ± 2.352 ppm
Br	141.126 ± 4.259 ppm	163.534 ± 5.334 ppm

B. Mediciones de concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de Monte Agüegüeto en colecta de marzo.

Elemento	BIV148A. ASR
K	12902.649 ± 214.668 ppm
Ca	2497.255 ± 122.261 ppm
Mn	3.209 ± 1.000 ppm
Fe	218.812 ± 2.888 ppm
Cu	11.246 ± 1.250 ppm
Zn	46.709 ± 2.270 ppm
Br	102.058 ± 4.668 ppm

C. Mediciones de concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de Monte Agüegüeto en colecta de abril.

Elemento	BIV158XA. ASR	BIV158XB. ASR	BIV158XC. ASR
K	15189.356 ± 219.848 ppm	15182.328 ± 191.955 ppm	15053.898 ± 216.857 ppm
Ca	2087.422 ± 107.694 ppm	2276.847 ± 116.274 ppm	2198.339 ± 124.600 ppm
Mn	3.652 ± 0.695 ppm	4.575 ± 0.716	6.052 ± 0.741 ppm
Fe	201.280 ± 2.181 ppm	205.188 ± 1.841 ppm	203.609 ± 1.975 ppm
Cu	6.432 ± 0.952 ppm	5.952 ± 0.982 ppm	6.052 ± 1.027 ppm
Zn	65.676 ± 1.718 ppm	62.262 ± 1.699 ppm	61.891 ± 1.659 ppm
Br	212.549 ± 4.733	208.270 ± 5.314 ppm	196.774 ± 4.138 ppm

D. Mediciones de concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de Monte Agüegüeto en colecta de Mayo.

Elemento	BIV2A28A. ASR	BIV2A28B. ASR	BIV2B28A. ASR	BIV2B28B. ASR
K	13519.831 ± 200.891 ppm	13856.883 ± 190.554 ppm	13552.577 ± 178.325 ppm	13699.225 ± 181.450 ppm
Ca	2487.349 ± 118.334 ppm	2575.443 ± 123.261 ppm	2461.217 ± 116.288 ppm	2450.976 ± 117.871 ppm
Mn	5.563 ± 0.556 ppm	6.247 ± 0.763 ppm	6.997 ± 0.598 ppm	6.897 ± 0.548 ppm
Fe	160.923 ± 1.664 ppm	168.932 ± 2.610 ppm	153.165 ± 2.232 ppm	154.999 ± 1.708 ppm
Cu	8.375 ± 1.017 ppm	6.391 ± 1.165 ppm	5.036 ± 0.855 ppm	7.119 ± 0.803 ppm
Zn	52.502 ± 1.356 ppm	51.584 ± 1.928 ppm	48.663 ± 1.515 ppm	52.174 ± 1.635 ppm
Br	137.626 ± 3.066 ppm	142.502 ± 5.122 ppm	162.262 ± 3.927 ppm	159.851 ± 3.695 ppm

E. Mediciones de concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de Monte Chacalín en colecta de febrero.

Elemento	BIV238A. ASR	BIV238W. ASR
K	16708.779 ± 358.001 ppm	18109.381 ± 202.536 ppm
Ca	4818.155 ± 164.869 ppm	4296.825 ± 163.276 ppm
Mn	7.590 ± 2.165 ppm	8.475 ± 0.773 ppm
Fe	247.404 ± 5.721 ppm	201.044 ± 2.355 ppm
Cu	17.059 ± 2.789 ppm	6.701 ± 1.325 ppm
Zn	96.605 ± 5.352 ppm	63.110 ± 2.035 ppm
Br	164.410 ± 11.172 ppm	177.560 ± 4.896 ppm

F. Mediciones de concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de Monte Chacalín en colecta de marzo.

Elemento	BIV258XA. ASR	BIV258XB. ASR	BIV258XC. ASR
K	15393.401 ± 209.298 ppm	14699.365 ± 202.389 ppm	14868.072 ± 201.807 ppm
Ca	2122.681 ± 127.388 ppm	2112.765 ± 108.379 ppm	2023.185 ± 118.298 ppm
Mn	3.201 ± 0.864 ppm	4.963 ± 0.692 ppm	4.662 ± 0.666
Fe	177.256 ± 2.741 ppm	173.480 ± 2.212 ppm	172.826 ± 2.073 ppm
Cu	4.641 ± 0.988 ppm	6.845 ± 0.936 ppm	5.169 ± 0.942 ppm
Zn	59.861 ± 2.335 ppm	55.208 ± 1.725 ppm	52.836 ± 1.768 ppm
Br	131.235 ± 4.383 ppm	128.008 ± 4.176 ppm	128.619 ± 5.814 ppm

G. Mediciones de concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de Monte Chacalín en colecta de Mayo.

Elemento	BIV328A. ASR	BIV328B. ASR	BIV328C. ASR
K	11829.155 ± 183.983 ppm	12160.788 ± 155.414 ppm	11674.734 ± 145.369 ppm
Ca	2271.883 ± 95.516 ppm	2361.935 ± 96.551 ppm	2240.770 ± 97.350
Mn	3.337 ± 0.474 ppm	2.583 ± 0.613 ppm	2.824 ± 0.670 ppm
Fe	145.103 ± 1.787 ppm	148.216 ± 2.184 ppm	144.029 ± 1.736 ppm
Cu	10.165 ± 0.786 ppm	10.498 ± 1.226 ppm	9.333 ± 1.254 ppm
Zn	55.326 ± 1.371 ppm	57.849 ± 1.942 ppm	58.424 ± 1.911 ppm
Br	150.810 ± 3.259 ppm	147.314 ± 5.915 ppm	154.444 ± 4.105 ppm

H. Mediciones de concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de Isla Jamaica en colecta de febrero.

Elemento	BIV338A. ASR	BIV338W. ASR
K	18384.488 ± 262.671 ppm	19685.059 ± 274.260 ppm
Ca	4420.340 ± 148.717 ppm	4309.604 ± 187.160 ppm
Mn	7.587 ± 0.584 ppm	8.037 ± 0.923 ppm
Fe	248.401 ± 1.836 ppm	229.996 ± 4.211 ppm
Cu	6.563 ± 0.858 ppm	3.991 ± 1.247 ppm
Zn	73.512 ± 1.516 ppm	68.208 ± 2.917 ppm
Br	255.073 ± 4.474 ppm	273.778 ± 6.583 ppm

I. Mediciones de concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de Isla Jamaica en colecta de marzo.

Elemento	BIV3A48A. ASR	BIV3A48B. ASR
K	12902.649 ± 214.668 ppm	14726.055 ± 226.184 ppm
Ca	2497.255 ± 122.261 ppm	2603.313 ± 151.561 ppm
Mn	3.209 ± 1.000 ppm	4.903 ± 1.177 ppm
Fe	218.812 ± 2.888 ppm	143.603 ± 2.142 ppm
Cu	11.246 ± 1.250 ppm	5.557 ± 1.054 ppm
Zn	46.709 ± 2.270 ppm	50.082 ± 2.408 ppm
Br	102.058 ± 4.668 ppm	135.343 ± 4.672 ppm

J. Mediciones de concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de Isla Jamaica en colecta de abril.

Elemento	BIV3A58A. ASR	BIV3A58B. ASR
K	15674.104 ± 190.348 ppm	13906.068 ± 267.845 ppm
Ca	2506.292 ± 122.960 ppm	2245.317 ± 116.332 ppm
Mn	4.221 ± 0.681 ppm	<4.542 ppm
Fe	199.597 ± 2.961 ppm	182.734 ± 3.971 ppm
Cu	9.528 ± 1.121 ppm	11.503 ± 2.095 ppm
Zn	54.011 ± 1.968 ppm	48.235 ± 3.407 ppm
Br	149.010 ± 4.740 ppm	155.629 ± 10.130 ppm

K. Mediciones de concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y Br de Isla Jamaica en colecta de mayo.