

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE FÍSICA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**“MEDICIÓN DE  $^{99}\text{Tc}$  EN AGUAS RESIDUALES Y BIOTA MARINA (ALGAS Y LANGOSTAS), APLICANDO LA TÉCNICA DE CENTELLEO LÍQUIDO”**

**PRESENTADO POR:**

**WALTER ALEXANDER FLORES VANEGAS**

**Y**

**ANGÉLICA MARÍA REYES LÚE**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**

**LICENCIADO EN FÍSICA**

**SEPTIEMBRE 2004**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**SAN SALVADOR**

**EL SALVADOR, C.A.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA  
ESCUELA DE FÍSICA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL GRADO DE:  
LICENCIADO EN FÍSICA**

**TÍTULO:**

**“MEDICIÓN DE  $^{99}\text{Tc}$  EN AGUAS RESIDUALES Y BIOTA MARINA (ALGAS Y  
LANGOSTAS), APLICANDO LA TÉCNICA DE CENTELLEO LÍQUIDO”**

**PRESENTADO POR:**

**WALTER ALEXANDER FLORES VANEGAS**

**Y**

**ANGÉLICA MARÍA REYES LÚE**

**ASESORES:**

**Lic. OSCAR ARMANDO AMAYA MONTERROSA**

**Lic. JULIO ERNESTO PAYÉS**

**Lic. RENÉ MAX BUSTILLO**

**SEPTIEMBRE 2004**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**SAN SALVADOR**

**EL SALVADOR, C.A.**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTORA: Dra. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ**

**SECRETARIO GENERAL: Lic. MARGARITA DE RECINOS**

**FISCAL GENERAL: Lic. PEDRO ROSALIO ESCOBAR**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**

**DECANO: MSc. JOSÉ HÉCTOR ELÍAS**

**DIRECTOR DE ESCUELA: Lic. FRANCISCO AMÉRICO MEJÍA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2004**

## **DEDICATORIAS**

**ANGÉLICA MARÍA REYES LÚE**

**DEDICO EL PRESENTE TRABAJO A:**

**DIOS PRIMERAMENTE POR SU INFINITO AMOR Y HABERME ILUMINADO**

**MIS PADRES:** Sra. Agustina Lúe de Reyes y Sr. Pedro Reyes, por su dedicación cariño y apoyo a sus hijo(as) de forma incondicional

**MIS HERMANOS:** Carlos Humberto y Roxana Elizabeth, por su cariño, comprensión y apoyo

**WALTER ALEXANDER FLORES VANEGAS**

**DEDICO EL PRESENTE TRABAJO A:**

**A DIOS, POR TODO; POR SIEMPRE Y HASTA SIEMPRE.**

**MIS PADRES:** Sra. Maria Silvia Vanegas y Sr. Miguel Ángel Flores; por su infinito apoyo, por sacrificarse junto a mí y por ser los padres mas padres que conozco. Los quiero.

**MIS HERMANOS:** Maria Elizabeth, Luís Miguel Ángel, Mayra Elizabeth, Soledad del Carmen, Silvia del Transito, José Manuel, Concepción Guadalupe, Ana Julia y Finalmente a Elmer Antonio Flores. Son y serán siempre parte de mí.

**MIS ABUELOS:** Sr. Miguel Ángel Velado, que en paz descanse; Sra. Julia Vegas, Ana Delia Flores Eméstica.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MIS ASESORES:**

Lic. Oscar Armando Amaya Monterrosa

Lic. Julio Ernesto Payés

Lic. Max René Bustillo

### **COLABORADORES:**

(ISSS) Lic. Silvio Gracias

(SNET) Lic. Giobani Molina

(UES) Lic. Nelson Ediltrudis Gómez Cedillos

(UES) Lic. Francisco Barahona Escoto

Centro de Desarrollo Pesquero (CENDEPESCA)

Pesquera del Sur

Administración nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)

**A LAS PERSONAS QUE DE FORMA VOLUNTARIA COLABORARON EN LA  
REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO**

**A TODOS ELLOS GRACIAS**

# ÍNDICE

CONTENIDO	Página
<b>RESUMEN</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>Capítulo 1 Análisis de Fundamentos</b>	
1.1 Decaimiento Radiactivo	15
1.2 Ley de Decaimiento Radiactivo	16
1.3 Efectos Biológicos de la radiación	18
1.4 Detectores de Radiación	20
1.5 Fundamentos Básicos	20
1.6 Producción de $^{99m}\text{Tc}$	22
1.7 Residuo Radiactivo y Muestreo en Medios Acuáticos	23
1.7.1 Método de Muestreo para medios Acuáticos	24
<b>Capítulo 2 Técnica de Centelleo Líquido</b>	
2.1 Principio de Funcionamiento	26
2.2 Eficiencia del Sistema de Medición	30
<b>Capítulo 3 Estudios Preliminares</b>	
3.1 Especificaciones de cóctel Comercial Utilizado	31
3.2 Variación de Conteo debido a la Acidez de las Muestras	32
3.3 Relación de Tasa de conteo y Volumen de Solución de Pertecnetato de Sodio	33
<b>Capítulo 4 Método Experimental</b>	
4.1 Materiales e Instrumentación	35
4.2 Colección de Muestras	36

4.2.1	Obtención de Muestras Líquidas en Estero de Jaltepeque y Bocana de Río Lempa	37
4.2.2	Obtención de Muestras Líquidas en el Río Tomayate Urbina, Cuscatancingo	38
4.2.3	Obtención de Muestras de Langostinos	38
4.2.4	Obtención de Muestras de Algas	41
4.3	Tratamiento de Muestras	42
4.3.1	Muestras Líquidas	43
4.3.2	Muestras de Langostinos	43
4.3.3	Muestras de Algas	45

## **Capítulo 5 Montaje Experimental y Método de análisis**

5.1	Montaje Experimental	46
5.2	Método de Análisis	47

## **Capítulo 6 Análisis de Resultados**

6.1	Muestras Líquidas Colectadas en Estero de Jaltepeque y Bocana de Río Lempa	49
6.2	Muestras Líquidas en el Río Tomayate, Urbina	50
6.3	Muestras de Langostinos	55
6.4	Muestras de Algas	58

## **Capítulo 7 Conclusiones y Recomendaciones**

7.1	Conclusiones	62
7.2	Recomendaciones	63
	Referencias	65
	Bibliografía	66

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Capítulo 1</b>	
Tabla 1.3.1	Clasificación de los Efectos de las Radiaciones Ionizantes 18
Tabla 1.3.2	Efecto de la Radiación para Diversas Dosis 19
Tabla 1.3.3	Límites de Dosis Recomendados 19
Tabla 1.5.1	Propiedades Fisicoquímicas del <sup>99</sup> Tc 21
<b>Capítulo 4</b>	
Tabla 4.2.1.1	Muestras colectadas en la bocana del río Lempa y entrada del Estero de Jaltepeque (La Puntilla) 37
Tabla 4.2.2.1	Muestras Líquidas, colectadas en Cuscatancingo y Río Tomayate Urbina 38
Tabla 4.2.3.1	Datos generales de las muestras de langostinos en cada una de las zonas 40
Tabla 4.2.3.2	Características de las muestras de langostino en las zonas costeras de El Salvador 41
Tabla 4.2.4.1	Muestras de algas colectadas en el lago de Suchitlan alimentado por las vertientes del río Lempa 42



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Capítulo 1</b>	
Figura 1.6.1	Esquema del decaimiento radiactivo del $^{99}\text{Tc}$ 23
<b>Capítulo 2</b>	
Figura 2.1.1	Esquema del Montaje del Detector de Centelleo Líquido 27
Figura 2.1.2	La Ilustración del Proceso de la Colección 28
<b>Capítulo 3</b>	
Figura 3.2.1	Variabilidad de cuentas por minuto y por litro medidas por el equipo para diferente valor de pH en muestras enriquecidas con la misma cantidad de pertecnetato de sodio 33
Figura 3.3.1	Resultados obtenidos, para diferentes volúmenes de solución de Pertecnetato de sodio y el número de Cuentas Por Minuto 34
<b>Capítulo 4</b>	
Figura 4.3.1	Mapa de Zonas de Muestreo de Langostinos 39
<b>Capítulo 5</b>	
Figura 5.2.1	Diseño del Montaje del Equipo de Centelleo Líquido 47
<b>Capítulo 6</b>	
Figura 6.1.1	Muestras colectadas en la bocana del río Lempa y entrada del Estero de Jaltepeque 50
Figura 6.2.1	Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 11 de noviembre de 2003 51

Figura 6.2.2	Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 14 de noviembre de 2003	52
Figura 6.2.3	Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 18 de noviembre de 2003	53
Figura 6.2.4	Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 24, 25 y 26 de noviembre de 2003	54
Figura 6.2.5	Comparación entre las muestras tomadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, noviembre de 2003	55
Figura 6.3.1	Gráfica de datos correspondientes a langostinos de la zona 3	56
Figura 6.3.2	Gráfica de datos correspondientes a langostinos de la zona 4	57
Figura 6.4.1	Gráfica de datos correspondientes a algas del lago de Suchitlan	59
Figura 6.4.2	Gráfica de comparación de datos promedios obtenidos por las muestras de langostinos y algas	60

## RESUMEN

Este trabajo consta de siete capítulos, cada uno de ellos contiene todo lo que fundamenta la investigación y los resultados obtenidos relacionados con las condiciones físicas del medio en el que se realiza el estudio.

La estructuración de este libro en forma detallada es la siguiente:

**El capítulo uno** contiene la teoría fundamental que rigen a los fenómenos radiactivos, su comportamiento y efecto ante las diferentes situaciones en que ésta puede ser aplicada. También se especifica el origen del radioisótopo  $^{99}\text{Tc}$ , que para el caso es de sumo interés en ésta investigación; por el tipo de radiación y periodo de desintegración del mismo.

La metodología para el tratamiento de muestras se detalla en base a la teoría encontrada en bibliografía y estudios de exploración del radionucleído, que en otros países se han desarrollado. Las aguas residuales y biota marina se consideran mas probablemente contaminados por  $^{99}\text{Tc}$ ; ya que su progenitor tiene una alta aplicación en el área de medicina nuclear y por ende sus residuos vienen a ser lanzados al ambiente, la mayoría de veces sin ningún tratamiento.

**En el capítulo dos** se describe la técnica de centelleo líquido, el cual es una de las indicadas para analizar muestras ambientales que contienen baja concentración de radionucleidos emisores de partículas beta.

Se detalla la técnica de centelleo líquido, los principios físicos involucrados, los factores que influyen en las mediciones; como el efecto Quench que proviene de la interacción entre la muestra y el cóctel de centelleo, produciendo corrimientos del espectro producto hacia bajos valores de energía. Se describe la relación entre las cuentas por minuto y el efecto Quench, fenómeno que corre el espectro producto hacia bajas energía.

**En el capítulo tres** se presentan los resultados obtenidos en los análisis preliminares que se hacen antes de efectuarse la investigación principal. Se encuentra un resumen acerca de las lecturas ante un cambio en el pH, la relación de tasa de conteo y volumen de solución de pertecnetato de sodio, así como las especificaciones del cóctel de centelleo utilizado.

En el **capítulo cuatro** se presenta el procedimiento que se lleva a cabo tanto para la colección de muestras y el tratamiento químico de las mismas; como también su caracterización, los criterios tomados en cuenta para la delimitación de zonas de muestreo y la ubicación específica de las mismas.

En el **capítulo cinco** se presenta el montaje y diseño experimental que se lleva a cabo en esta investigación al aplicar la técnica de centelleo líquido. Como también las especificaciones del protocolo de medición en el equipo de centelleo, cuyas componentes se encargan de llevar que a cabo la captación de la señal radiactiva y convertirla en señal digital o señales analíticas (CPM).

En el **capítulo seis**, como parte medular de la investigación, se analizan los resultados obtenidos, la descripción y relación de estos para cada zona y tipo de muestras en estudio. Como también las relaciones entre los resultados y efecto Quench que deben tomarse en cuenta al analizar la investigación.

Finalmente se tiene que en el **capítulo siete**, se presentan las conclusiones del estudio. Como también las recomendaciones que deben tomarse en cuenta al realizar estudios posteriores en esta área.

Se encuentra un resumen acerca de las conclusiones de los resultados obtenidos en las muestras y en base a ello, se detallan las recomendaciones que a criterio de lo encontrado por los investigadores de este trabajo debe tenerse en cuenta al momento de llevar a cabo un estudio con el mismo fin.

## INTRODUCCIÓN

En las distintas aplicaciones de la tecnología nuclear se generan residuos al igual que en cualquier otra actividad humana. Aunque la diferencia de esta industria se enmarca en que debe eliminar sus desechos en forma absolutamente controlada, desarrollando técnicas para su tratamiento y disposición, tan sofisticadas como sea necesario para asegurar que no constituyan un riesgo de contaminación ambiental para las futuras generaciones.

A El Salvador ingresa una cantidad aproximada de  $3.26 \times 10^{12}$  Bq (88 Ci) de  $^{99m}\text{Tc}$  por año<sup>[5]</sup>, y en la actualidad no se cuenta con estudios realizados que muestren el nivel de  $^{99}\text{Tc}$  presente en el ambiente; por ejemplo la concentración estándar permitido en agua potable de  $^{99}\text{Tc}$  en los EE.UU. es de 33.33 Bq/L (900 pCi/L) <sup>[6]</sup>. El límite permitido de exposición de radiación beta no debe exceder de 0.04 mSv por año<sup>[6]</sup>.

En un futuro cercano, se predice que la cantidad de  $^{99}\text{Tc}$  en el ambiente aumentará debido a los desechos generados por instalaciones nucleares y sus aplicaciones en medicina nuclear. Su período largo asegura su presencia en el ambiente. Por lo tanto,  $^{99}\text{Tc}$  contribuirá significativamente a la dosis colectiva futura recibida por la población, y desempeñará un papel importante en el problema de la gestión de desechos nucleares. Todas estas razones hacen muy relevante estudiar la presencia y clarificar el comportamiento de  $^{99}\text{Tc}$  en la naturaleza.

Partiendo de este principio, la determinación de concentraciones de desechos radiactivos en el medio ambiente, nos pone en el camino de una investigación exploratoria; para determinar la existencia de tecnecio-99 [ $^{99}\text{Tc}$ ] en aguas residuales, algas y langostinos, utilizando la técnica de centelleo líquido apropiada para determinar bajas concentraciones de radionúcleidos emisores de partículas Beta<sup>[1][2][3]</sup>.

El  $^{99}\text{Tc}$  es un radionucleido que no está presente en el ambiente por su propia génesis y es un emisor de partículas Beta con energía máxima de 0.292 Mev y de largo período de desintegración  $2.1 \times 10^5$  años<sup>[4]</sup>; de este radionucleido no se dispone documentación sobre

estudios realizados en el país, sin embargo ingresa tecnecio-99 meta estable ( $^{99m}\text{Tc}$ ) para aplicaciones en medicina nuclear, principalmente de México y EE.UU.<sup>[5]</sup>. Además se desconoce el nivel de  $^{99}\text{Tc}$  existente, derivado del uso de generadores de  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  en medicina nuclear.

La colección de muestras líquidas, se realiza en el **río Tomayate Urbina** en la localidad de Cuscatancingo, San Salvador y Bocana del **río lempa**; las **algas** se recolectan en el lago de **Suchitlan** y el **langostino** que se recolecta a lo largo de nuestras **costas**, desde el puerto de la Libertad hasta la Isla de Meanguerita. Las muestras colectadas se les realiza un tratamiento químico antes de ser analizadas en el equipo de centelleo líquido para la medida de  $^{99}\text{Tc}$ .

El equipo de centelleo utilizado en el análisis es el **Modelo TRI – CARB 2100TR**. Los resultados del análisis, se presentan por medio de gráficos, comparando el valor de Cuentas por Minuto (CPM) por litro de las muestras en estudio y la muestra que no contiene el radionucleido (blanco). Los resultados promedio para muestras líquidas de la zona de la Bocana el río Lempa es de  **$564 \pm 13$  CPM/L**, para las muestras líquidas recolectadas en la zona del río Tomayate Urbina es  **$1,179 \pm 20$  CPM/L**, para algas es de  **$371225 \pm 272$  CPM/Kg**, para langostino de la **zona 3** es  **$116028 \pm 152$  CPM/Kg** y para el langostino de la **zona 4** es de  **$119974 \pm 155$  CPM/Kg**. Los resultados reflejan los promedios encontrados en estos distintos grupos.

## Capítulo 1

### ANÁLISIS DE FUNDAMENTOS

Los fenómenos radiactivos al igual que cualquier otro fenómeno físico son estudiados por una teoría en particular; en este caso la ley que estudia el comportamiento físico de un radionucleido es la del decaimiento nuclear.

Los radioisótopos son utilizados en la investigación y la industria y por ende generan necesariamente desechos radiactivos y fuentes en desuso que precisan de una gestión o tratamiento. Las principales fuentes que generan desechos radiactivos es: el ciclo de los combustibles nucleares, y las aplicaciones nucleares (el uso de radionucleidos en la medicina, la investigación y la industria).

Los desechos radiactivos y sustancias radiactivas en uso generan radiaciones al ambiente. Estas son producto de núcleos radiactivos ya sean existentes en la naturaleza o creados artificialmente; éstos tienen la característica de transformarse en otros núcleos modificando su nivel energético.

#### 1.1 DECAIMIENTO RADIATIVO

Los núcleos radiactivos pueden transformarse unos en otros, o pasar de un estado energético a otro, mediante la emisión o absorción de radiación. Entonces cuando emiten, el proceso que sufren, éste se llama decaimiento radiactivo o desintegración radiactiva. Esta transformación o decaimiento sucede de manera espontánea, sin que pueda impedirse mediante algún factor externo. Cada decaimiento va acompañado de algún tipo de radiación, ya sea ésta; alfa, beta, gamma, etc. La energía que es emitida en forma de radiación es perdida por el núcleo, siendo la fuerza nuclear el origen de esta energía y de las radiaciones sus características más útiles son: capacidad de penetrar la materia y de transferir su energía a ella.

No todos los núcleos de la naturaleza son radiactivos. El decaimiento nuclear sólo sucede cuando hay un exceso de masa-energía en el núcleo, la emisión de radiación favorece la estabilidad energética de éstos. Los diferentes decaimientos radiactivos se caracterizan por: el tipo de emisión, su energía y la rapidez de decaimiento.

## 1.2 LEY DE DECAIMIENTO RADIATIVO

La actividad  $A$  es proporcional al número de núcleos  $N$  presentes en la muestra radiactiva en un instante dado, siendo la constante de proporcionalidad  $\lambda$  (constante de decaimiento radiactivo):

$$A = \lambda N \quad \text{Ec.1.2.1}$$

Como actividad implica transmutación nuclear, al ir decayendo la muestra con el tiempo,

el número  $N$  va disminuyendo con una rapidez  $-\frac{dN}{dt}$ . El signo negativo indica disminución de  $N$  al avanzar el tiempo  $t$ . Por lo tanto,

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \text{Ec.1.2.2}$$

Si se toma la segunda parte de esta ecuación, se tiene una ecuación diferencial que debe resolverse por separación de variables:

$$\frac{dN}{N} = \lambda dt \quad \text{Ec.1.2.3}$$

Integrando ambos miembros tenemos,

$$N = e^{-\lambda t + K} \quad \text{Ec.1.2.4}$$



Por lo tanto,

$$N = N_o e^{-\lambda t} \quad \text{Ec.1.2.5}$$

Que es la ley de decaimiento radiactivo. Indica la forma analítica en que el número de núcleos va disminuyendo con el tiempo.

La actividad correspondiente se obtiene con:

$$A = \lambda N = \lambda N_o e^{-\lambda t} \quad \text{Ec.1.2.6}$$

Si se define  $A_0 = N_o$ , la ecuación para A toma la misma forma exponencial que la de N, o sea, la actividad disminuye con el tiempo en la misma forma que el número de núcleos:

$$A = A_o e^{-\lambda t} \quad [\text{Bq}] \quad \text{Ec.1.2.7}$$

La vida media  $t$  de un isótopo es el tiempo que tarda en disminuir su actividad a la mitad.

Si en la ecuación de decaimiento se substituyen los valores cuando  $t = t_{1/2}$ ,  $A = \frac{A_0}{2}$ , se obtiene que

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t} \quad \text{Ec.1.2.8}$$

De aquí se obtiene la relación entre la constante de decaimiento y la vida media de un isótopo:

$$t = 0.693 / \lambda \quad [\text{s}] \quad \text{Ec.1.2.9}$$

Para diferentes estados se utiliza un término llamado Actividad Específica (SA); así para sólidos se tiene

$$SA = \frac{\text{Actividad}}{\text{masa}} \quad (\text{Bq} / \text{Kg}) \quad \text{Ec. 1.2.10}$$

Para gases y líquidos

$$SA = \frac{\text{Actividad}}{\text{Volumen}} (\text{Bq} / \text{L}) \quad \text{Ec. 1.2.11}$$

### 1.3 EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN

El enorme auge y la creciente utilización en las últimas décadas de fuentes artificiales de radiación no deben hacer creer que los seres vivos han sufrido por primera vez los efectos de la radiación en este siglo. El hombre siempre ha vivido, desde su aparición sobre la tierra, en un medio ambiente radiactivo.

**Tabla 1.3.1 Clasificación de los Efectos de las Radiaciones Ionizantes<sup>[8]</sup>**

EFECTO	DEFINICIÓN	CAUSA
ESTOCÁSTICOS O ALEATORIO	Cuando la probabilidad de que se presente es proporcional a la dosis recibida.  No existe una dosis umbral, por debajo de la cual no se presente efecto.	La probabilidad de que aparezca leucemia en un sujeto irradiado es tanto más grande cuanto mayor sea la dosis recibida y puede aparecer aunque la dosis recibida sea casi despreciable.
DETERMINISTAS	Es aquel cuya gravedad es tanto mayor cuanto mayor sea la dosis recibida.  Existe una dosis umbral para la aparición de efectos.	La aparición de esterilidad (testículos) recibida en una exposición única y corta es de 3.5 Sv a 6.0 Sv

Todo ciudadano recibe una cantidad de radiación de origen natural (por tanto inevitable) y en teoría es superior a la que recibe de fuentes artificiales. Debido a que este último puede y debe ser sometida a control. Pero algunas limitaciones excesivamente restrictivas pueden incidir muy negativamente en determinados aspectos del desarrollo y del progreso

y existen criterios extremos que pueden tener consecuencias graves para la salud pública de las generaciones presentes y de las venideras.

**Tabla 1.3.2 Efecto de la Radiación para Diversas Dosis<sup>[8]</sup>**

DOSIS	EFEECTO PRODUCIDO	Tiempo $\approx$
3– 5 Gy (Local)	Eritema	3 semanas
3– 5 Gy (Local)	Descamación seca	3 semanas
20 Gy (Local)	Descamación húmeda	4 semanas
3-5 Gy (Todo el cuerpo)	Daño a la médula ósea	30 a 60 días
5-15 Gy (Todo el cuerpo)	Daño al tacto gastrointestinal y pulmones	10 a 20 días
>15 Gy (Todo el cuerpo)	Daño al sistema nervioso	1 a 5 días

**Tabla 1.3.3 Límites de Dosis Recomendados**

APLICACIÓN	OCUPACIONAL	PÚBLICO
Dosis efectiva	20 mSv/año promediada a lo largo de periodos definidos de 5 años	1 mSv en un año
Dosis equivalente en:		
El cristalino	150 mSv	15 mSv
La piel	500 mSv	50 mSv
Las manos y pies	500 mSv	

## 1.4 DETECTORES DE RADIACIÓN

Los diferentes detectores de radiación, se clasifican de acuerdo a la energía y el tipo de radiación que mide; así tenemos los detectores de estado sólido por ejemplo el de Germanio Hiperpuro, que presentan gran resolución; las cámaras de ionización, detectores con material centellador. Cada uno de estos es diferente y se escogen de acuerdo al tipo de radiación a medir; cuando el objetivo es de establecer si existe presencia de radiación o no, lo adecuado son los detectores Geiger-Muller. Para fines espectroscópicos se utilizan aquellos detectores que operan en la zona proporcional de voltaje, para medir niveles de radiación relativamente baja es necesario utilizar sistemas detectores provistos de gran sensibilidad como los de centelleo líquido.

## 1.5 FUNDAMENTOS BÁSICOS

El Tecnecio en la forma del  $^{97}\text{Tc}$  se descubrió en 1937 por Emilio Segré y Carlo Perrier en la Universidad de California - Berkeley. El  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , uno de los isótopos más comunes y de mas uso en la medicina moderna fue desarrollado por Glenn T. Seaborg y Emilio Segré<sup>[12]</sup>. El  $^{99}\text{Tc}$ , es radiactivo y es producido por fisión espontánea, pero principalmente artificial. Todos los isótopos de tecnecio son radiactivos. El isótopo normalmente más disponible es  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (llamado meta estable  $^{99}\text{Tc}$ ) siendo este de periodo de semidesintegración de 6.02 horas y el padre del  $^{99}\text{Tc}$  el cual es de periodo largo y decae a  $^{99}\text{Ru}$  (estable), decae emitiendo partículas beta y radiación gamma. El  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , emite tres fotones gamma (2.1726 kev, 140.5 kev y 142.63 kev), pero el principal fotón que se usa para la detección es el de 140.5 kev sin embargo, es el isótopo radiactivo más ampliamente usado para los estudios de diagnóstico médicos, tiene un amplio uso en medicina y con propósitos de investigación como trazador radiactivo, incluyendo evaluaciones de la condición médica del corazón, los riñones, pulmones, el hígado, bazo, tiroides, entre otros; como también para estudios de diagnósticos médicos en flujo de sangre.

**Tabla 1.5.1 Propiedades Fisicoquímicas del  $^{99}\text{Tc}$ <sup>[10]</sup>**

Color	Grupo	Estado Físico	Densidad g/mL	Punto de la fusión	Punto de ebullición	Energía máxima $\beta^-$
Gris plateado	VIIB <sup>1</sup>	Sólido a 24 °C	11,5 (20°C)	2200 °C	4567°C	0.292 Mev

<sup>1</sup>Según Gpfennig, W.Selman-eggebert y otros. TABLA DE NUCLEIDOS. Sexta edición impreso por DRUCKHAUSHABERBECK, D-32791 Lage, Lippe 1995.

Se produce <sup>99</sup>Tc principalmente en cantidades comerciales como un subproducto del funcionamiento de reactores nucleares. La mayoría del <sup>99</sup>Tc producido en un reactor nuclear se origina del decaimiento del zirconio-99 (<sup>99</sup>Zr). El <sup>99</sup>Tc producido en el reactor puede volverse parte de los residuos radiactivos en el ambiente. Además, se produce <sup>99</sup>Tc en las instituciones médicas y académicas que utilizan generadores de Molibdeno/Tecnecio como una fuente de <sup>99m</sup>Tc para pruebas de diagnóstico o investigación. El <sup>99</sup>Mo tiene una vida media de 66 horas, y decae a <sup>99m</sup>Tc luego este decae a <sup>99</sup>Tc que es de larga vida ( $2.1 \times 10^5$  años).

La mayoría del <sup>99</sup>Tc en el ambiente entra por diferentes fuentes: la detonación de armas nucleares (pruebas de las armas especialmente atmosféricas), Reactores nucleares, ciclo del combustible nuclear. Las cantidades sumamente pequeñas de <sup>99</sup>Tc han entrado en el ambiente como desechos radiactivos. Dado que por su largo periodo, los restos de <sup>99</sup>Tc en el ambiente; aire, en el agua del mar, tierras, plantas, y animales contienen concentraciones muy bajas de <sup>99</sup>Tc. La materia orgánica en tierras y los sedimentos retardan el movimiento de <sup>99</sup>Tc. Algunas plantas como algas castañas que viven en aguas marinas son plantas en las cuales se concentra el <sup>99</sup>Tc. El <sup>99</sup>Tc también se puede transferir del agua marina a los animales. Las cantidades diminutas de <sup>99</sup>Tc son parte del ambiente, y se encuentra por consiguiente en comida y agua. Pueden encontrarse cantidades más altas de <sup>99</sup>Tc cerca de medios contaminados que utilizan <sup>99m</sup>Tc para la investigación o aplicación técnica. El Personal del laboratorio que usa <sup>99m</sup>Tc en experimentos puede exponerse. Pacientes que sufren procedimientos de diagnóstico pueden recibir cantidades también controladas de <sup>99m</sup>Tc.

La ingestión es la ruta de la entrada primaria para  $^{99}\text{Tc}$  en el cuerpo humano. Esto puede ocurrir comiendo alimentos o bebiendo agua contaminada con  $^{99}\text{Tc}$ . Una vez entra en el cuerpo humano, el  $^{99}\text{Tc}$  se concentra en la glándula tiroidea y el tracto gastrointestinal. Pruebas especiales que miden el nivel de radiactividad de  $^{99}\text{Tc}$  u otros isótopos del tecnecio en la orina, excremento y exhalación de aire no pueden determinar si una persona se ha expuesto al tecnecio. Estas pruebas se hacen mejor poco después de la exposición al radionucleido; cuando el cuerpo excreta el  $^{99}\text{Tc}$  ingerido. Sin embargo, en el pelo se retiene  $^{99}\text{Tc}$  por un largo periodo y puede ser un indicador de contaminación de  $^{99}\text{Tc}$ . Las pruebas requieren equipo especial y no pueden hacerse de forma directa.

### 1.6 PRODUCCIÓN DE $^{99\text{m}}\text{Tc}$

Se produce Tc-99m a través del decaimiento de  $^{99}\text{Mo}$  por partículas beta. El  $^{99}\text{Mo}$  tiene un  $Z = 42$  y un periodo de semidesintegración de 66 horas, es un emisor de partículas beta de energía igual a 1.2 Mev y decae a  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Es interesante hacer notar que el 4.52% de estas transiciones son el resultado de la emisión puntual de un gamma de 140.5 keV del 7/2+ estado excitado de  $^{99}\text{Tc}$ . Se produce  $^{99}\text{Mo}$  a través de la activación neutrónica del  $^{98}\text{Mo}$  provocando la reacción neutrón-gamma (n, $\gamma$ ).

En la industria médica se utilizan generadores de  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ . El primero se desarrolló en el Laboratorio Nacional de Brookhaven en 1957 y está basado en la adsorción de portador-libre  $^{99}\text{Mo}$  en una columna de alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (ver anexo I). La actividad del  $^{99}\text{Mo}$  en forma de ión molybdato  $\text{MoO}_4$ , se ligan a una columna de alúmina. La actividad del  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  es químicamente diferente, por lo que no se liga a la alúmina y es separado de la columna con 5 a 25 ml de salina normal. Típicamente se extraen 75 a 85 por ciento de  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  actividad disponible en una sola extracción, teniéndose actividad máxima disponible aproximadamente 24 horas después de cada elución. Estos generadores son útiles por aproximadamente una semana ya que su vida media es de 66 horas.



Vida media del  ${}_{42}^{99}\text{Mo}$  es de 66,0 horas

${}^{99m}_{43}\text{Tc} \rightarrow {}^{99}_{43}\text{Tc} + (140\text{Kev})$  Vida media del  ${}^{99m}_{43}\text{Tc}$  es de 6.02 horas

El  ${}^{99}\text{Tc}$  decae a  ${}^{99}\text{Ru}$ , esquemáticamente:

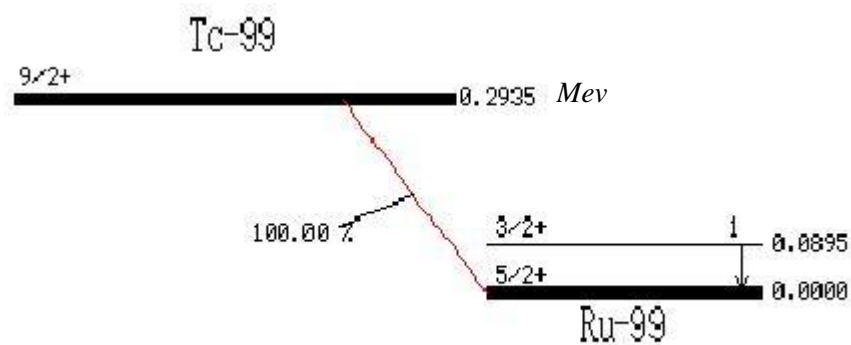


Figura 1.6.1 Esquema del Decaimiento Radiactivo del  ${}^{99}\text{Tc}$

## 1.7 RESIDUOS RADIATIVOS Y MUESTREO EN MEDIOS ACUÁTICOS

Los residuos radiactivos son materiales para los que ya no se prevé ningún uso, y que contienen o están contaminados por elementos radiactivos en cantidades superiores a los límites establecidos por autoridades reguladoras. Estos al ser lanzados al medio ambiente incrementan la contaminación. A causa de esta contaminación, también las especies que en el medio contaminado se encuentran se contaminan y muchísimas de las especies por ser parte de la cadena alimenticia, se genera una contaminación aún mas grave.

Existen muchos métodos para efectuar monitoreos del medio en general; en el cuál para cada cual hay uno en particular, a continuación se detallan uno de los métodos a seguir para monitorear medios acuáticos.

### 1.7.1 MÉTODO DE MUESTREO PARA MEDIOS ACUÁTICOS

El monitoreo del ambiente acuático cubre si es apropiado, agua, peces y mariscos, sedimentos y/o materiales suspendidos; algunos radionucleidos preferiblemente se adhieren a los sedimentos mientras que otros se mantienen en fase acuosa. El monitoreo de los sedimentos es de fundamental relevancia para las vías de exposición externa por la presencia en playas y ríos.

Las mediciones en medios acuáticos deben ser hechas a un metro de profundidad de la superficie, empleando equipo apropiado (tomador de perfiles), en los sitios de descarga. Debido a que la concentración de radionucleidos en el medio ambiente es usualmente muy baja y en muchos casos realmente no detectable es entonces cuando es requerido tener indicadores; estos son usualmente plantas, algas, animales bentónicos o materiales inorgánicos (como partículas suspendidas), los cuales efectivamente acumulan sustancias radiactivas de su entorno. Así los radionucleidos descargados son fácilmente detectados en las muestras indicadoras, aunque la concentración en su medio circundante pueda estar por debajo del límite de detección. Por lo tanto estos indicadores son empleados para obtener información de radionucleidos y su distribución en el medio ambiente; factores como la época del año, la temperatura y la salinidad no deben ser ignorados.

Las playas son raramente homogéneas en cuanto al tamaño de partículas que forman su superficie. Al encontrarse ligados los radionucleidos a las partículas en sedimentos de playas, existe la tendencia que las áreas de sedimentos finos tengan concentraciones de actividad mas elevadas que las áreas de sedimentos mas gruesos.

El muestreo por la obtención de sedimentos representa una ruta de exposición importante en circunstancias determinadas. Las muestras de sedimentos se toman alrededor de 30 cm de profundidad; también es posible usar sedimentos para obtener información de acerca de la historia de las descargas de una fuente a un cuerpo de agua. Preferiblemente estos deben tomarse en áreas del medio acuático que no estén sujetas a perturbaciones producto de olas, tormentas, influencias artificiales, etc.

En el agua, se deben evitar las áreas que contienen sedimentos flotantes. Usualmente es importante filtrar el agua muestreada a priori del análisis. Esto se hace para evitar errores



debido a la presencia de cantidades variables de sedimentos suspendidos con radionucleidos enlazados. Las pérdidas de radionucleidos en las paredes de los recipientes de muestreo usualmente se previenen acidificando la muestra. Por ejemplo a los frascos de muestreo se les añade a menudo ácido nítrico 16 M, antes de tomar la muestra de agua, una proporción normalmente usada es 20ml de ácido por un litro de muestra, aunque esto puede causar transferencia de actividad de la fase sólida (ej: sedimentos suspendidos) a la fase líquida, por esto se debe filtrar la muestra antes de ser acidificada.

La técnica utilizada en monitoreo ambiental es determinante y de gran importancia para la adquisición de muestras que sean representativas de la zona; para esto es necesario conocer las zonas de descarga del residuo radiactivo, las vías de descarga y la importancia relativa de las diferentes vías de exposición, las condiciones y características ambientales del sitio.

## Capítulo 2

### TÉCNICA DE CENTELLEO LÍQUIDO

El proceso del centelleo Líquido es básicamente la conversión de la energía de un evento de decaimiento radiactivo en fotones de luz. Los tubos fotomultiplicadores (PMT) que son parte del equipo de centelleo líquido son los que transforman los destellos de luz (fotones) en pulsos eléctricos, los cuales son procesados por un sistema multicanal. En este proceso la muestra que es analizada se disuelve en una sustancia química que contiene un material centellador capaz de interactuar con las partículas energéticas emitidas por la muestra, este proceso permite transformar esta interacción en destellos de luz.

#### 2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO<sup>[11]</sup>

En el contador de centelleo líquido, la radiación emitida por la sustancia radiactiva interactúa con la sustancia química del centellador (cóctel de centelleo) del cual ella forma parte; la intensidad luminosa que se desprende producto de la interacción de la radiación con el líquido centellador es capturada por los tubos foto multiplicadores que componen el detector, estos amplifican la señal la cual se mide en un multicanal con fines de análisis espectroscópico y poder determinar la sustancia emisora de radiación. En la técnica el pulso de salida es proporcional al pulso de entrada. Este sistema se muestra en la siguiente figura.

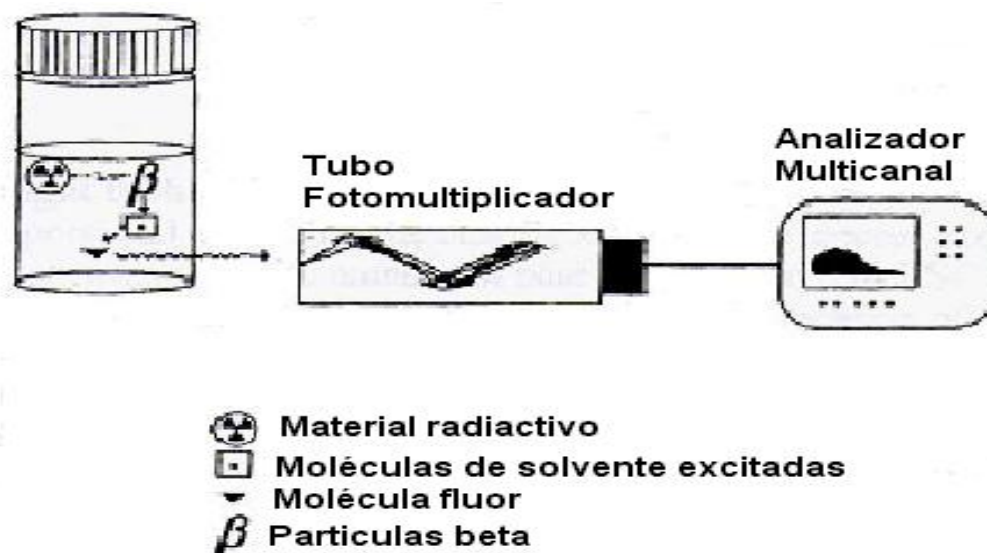


Figura 2.1.1 Esquema del Montaje del Detector de Centelleo Líquido

Los pasos que se detallan es el procedimiento que describe la técnica de centelleo líquido en el análisis de muestras:

**Paso 1.** Las partículas Beta son producto del decaimiento radiactivo. Para asegurar el traslado eficaz de la energía entre la partícula beta y la solución, ésta debe ser un solvente para la muestra que contiene el radionucleido ( $^{99}\text{Tc}$ ).

**Paso 2.** En el líquido relativamente denso, la partícula beta viaja distancias cortas antes de transferir toda su energía cinética. Típicamente una partícula beta tomará sólo unos nanosegundos para disipar toda su energía cinética; su energía es absorbida por el líquido centellador en tres formas: calor, ionización y excitación. Parte de la energía de las partículas beta es absorbida por las moléculas del solvente (centellador), excitándolas.

**Paso 3.** El solvente emite Energía de excitación como luz ultravioleta (UV) y las moléculas del solvente regresan a un estado no excitado. Las moléculas del solvente excitadas pueden transferir energía a otras moléculas y al soluto (Figura 2.1.2). El soluto es un material fluorescente. Una molécula del solvente excitado que cede su energía a una molécula del soluto perturba la nube de electrones de los orbitales del soluto llevándolo a un estado de excitación; así los electrones orbitales excitados de la molécula del soluto

regresan a su estado fundamental, una radiación resulta de este proceso, en este caso un fotón de luz UV. La luz UV es absorbida por moléculas del material fluorescente las cuales emiten destellos de luz en el retorno al estado no excitado. Los eventos de decaimiento nucleares producen aproximadamente 10 fotones por un keV de energía. La energía es disipada en un periodo de tiempo en el orden de 5 nanosegundos. El número total de fotones de las moléculas del material fluorescente excitadas que constituye el centellador. La intensidad de luz es proporcional a la energía inicial de las partículas beta que interactúan.

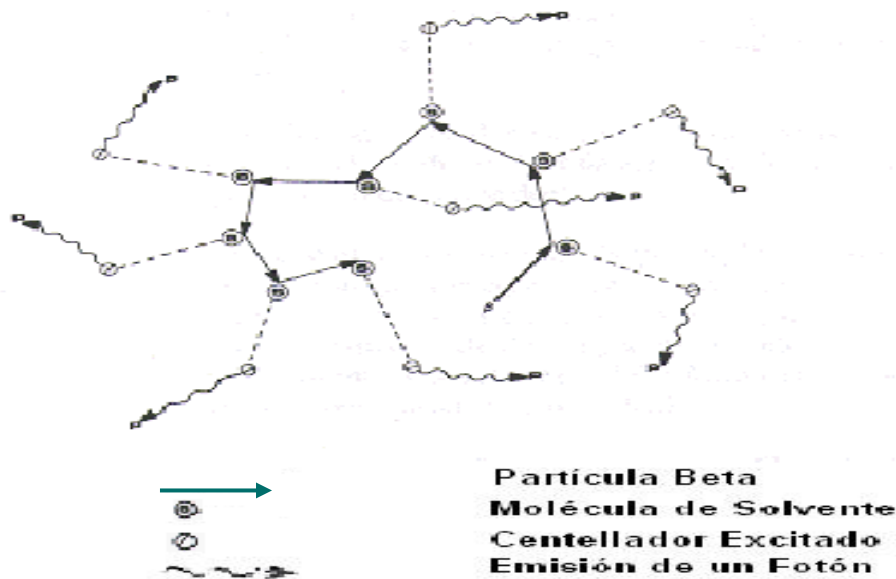


Figure 2.1.2 La Ilustración del Proceso de la Colisión

**Paso 4.** Los destellos de luz colisionan en el cátodo del Tubo Foto Multiplicador (PMT). Los electrones (proporcional al número de pulsos ligeros azules) se arrojan produciendo un pulso eléctrico que es proporcional al número de fotones (destello de luz). Un Contador de Centelleo Liquido (LSC) normalmente tiene dos PMT. La amplitud del pulso de PMT depende de la localización del evento dentro del contenedor. Un evento que produce 100 fotones será representado por un pulso más grande si el evento es más cerca al PMT que si el evento es más remoto. La señal de cada PMT se registra en un circuito que sólo produce

una salida si dos señales ocurren juntas, eso es dentro del tiempo de resolución del circuito, aproximadamente 20 nanosegundos (coincidencia en el circuito). Por la suma, la amplitud de los pulsos de cada PMT es aumentada y se tiene un rendimiento que es proporcional a la intensidad total producida en el centellador (pulso analógico).

**Paso 5.** La amplitud del pulso eléctrico se convierte en un valor digital (0 ó 1) que representa la energía de la partícula beta. En el analizador multicanal estos valores digitales producidos por el LSC son comparados de acuerdo a su intensidad. Ya que cada canal cuenta con una hendidura de memoria de almacenamiento tienen la capacidad para registrar un rango de energía entre 0-2000 keV.

**Paso 6.** El número de pulsos en cada canal es impreso o desplegado en una pantalla (CRT). De esta manera, la muestra se analiza y el espectro puede trazarse para proporcionar información sobre la energía de la radiación o la cantidad de material radiactivo disuelto en el cóctel.

En ésta técnica de centelleo líquido existe un factor que modifica o interfiere en los resultados de conteo de radiación, éste factor se le llama Quench.

El quench es un factor que reduce la eficiencia de la transferencia de energía a los fototubos o causa la absorción de los fotones en la muestra. Hay dos tipos principales de Quench: el Quench químico y el Quench de color (ver anexo II).

El Quench químico causa una dispersión de la energía radiactiva antes de convertirse en fotones. Este efecto ocurre durante el traslado de energía del solvente al líquido centellador.

El Quench de color es la atenuación de los fotones producidos por la interacción de la partícula radiactiva con el material fluorescente, los cuales son absorbidos o dispersados por el color en la solución, esto produce una reducción del rendimiento en los fototubos impidiendo que los pulsos energéticos sean analizados en el multicanal.

Los valores de índices espectrales de una muestra (SIS) en un espectro indican la disminución o aumento del Quench en el análisis de una muestra radiactiva; siendo esta relación tal que a medida que aumenta el valor de Quench el parámetro SIS disminuye, esto se refleja en un espectro como un desplazamiento a valores de baja energía.

Con lo anteriormente descrito se puede decir que, si el fenómeno Quench afecta el conteo de radiación captada por el equipo de centelleo; significa que en presencia de un alto Quench el sistema de medición disminuye su eficiencia en el análisis de una muestra.

## 2.2 EFICIENCIA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

Se conoce como eficiencia, al porcentaje de radiación emitida que esta siendo registrado, dependiendo éste de la energía de la partícula y de la naturaleza de la misma. Entre mayor sea la energía de la partícula emitida, mayor es la probabilidad que el equipo tiene para detectarla; pero si la energía de la partícula emitida es menor, también la probabilidad para detectarla será menor. Lo que indica que para detectar una curva energética de un radionuclido de baja energía será necesario escoger una técnica adecuada para su detección.

La eficiencia de un sistema de detección radiactiva viene definida por:

$$Eficiencia (\%) = \left( \frac{CPM}{DPM} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 2.2.1}$$

Donde:

*CPM*: es el número de cuentas por minuto registradas por el equipote centelleo

*DPM*: es el número de desintegraciones por minuto emitido por la fuente radiactiva

Teniendo un estándar de referencia del radionucleido a analizar, se puede determinar la eficiencia del equipo y por ende poder calcular el número de desintegraciones radiactivas presentes en la muestra que se analiza.

## Capítulo 3

### ESTUDIOS PRELIMINARES

Para la realización de esta investigación fue necesario hacer un ensayo con las muestras a tratar de las zonas en estudio; como también verificar algunos parámetros que podrían interferir al aplicar el método de análisis y la técnica de centelleo.

En las pruebas de sondeo se toma en cuenta las especificaciones del cóctel de centelleo a utilizar, para tener conocimiento cual es su grado de eficiencia y el tipo de muestras que se le puede incorporar. Específicamente para esta investigación se utiliza el cóctel comercial conocido como Ultima Gold™, adecuado para el análisis de muestras orgánicas.

#### 3.1 ESPECIFICACIONES DE CÓCTEL COMERCIAL UTILIZADO

Ultima Gold™ cóctel líquido de centelleo, diseñado específicamente para el tratamiento de partículas alfa/beta. En las muestras que se consideran en esta investigación el interés es sondear la presencia de radiación beta en las muestras.

Las especificaciones del cóctel de centelleo utilizado son las siguientes:

##### **Ultima Gold**

Lote 77-5113

High flash-point LSC-Cocktail

For aqueous and non-aqueous samples

Flash point

Aprox 306°F (152°C); fue adquirido  
aproximadamente a finales de 1996

##### **Triton X-100**

Iso-octylphenoxy polythoxy etanol

Lot 4-6091 expiry Mar 1999

##### **PPO**

2,5-Diphenyloxazole

Lote 21-6071

Expiry July 2000

Molecular weight 221.25

Melting point 70-72°C

Fluorescence max 365nm (toluene)

**POPOP**

1,4-bis-[2-[5-phenyloxazoly]]-Benzene

Lote 22-6041

Molecular weight 364.39

Melting point 244-246°C

Fluorescence max 415 nm (toluene)

**3.2. VARIACIÓN DEL CONTEO DEBIDO A LA ACIDEZ DE LAS MUESTRAS**

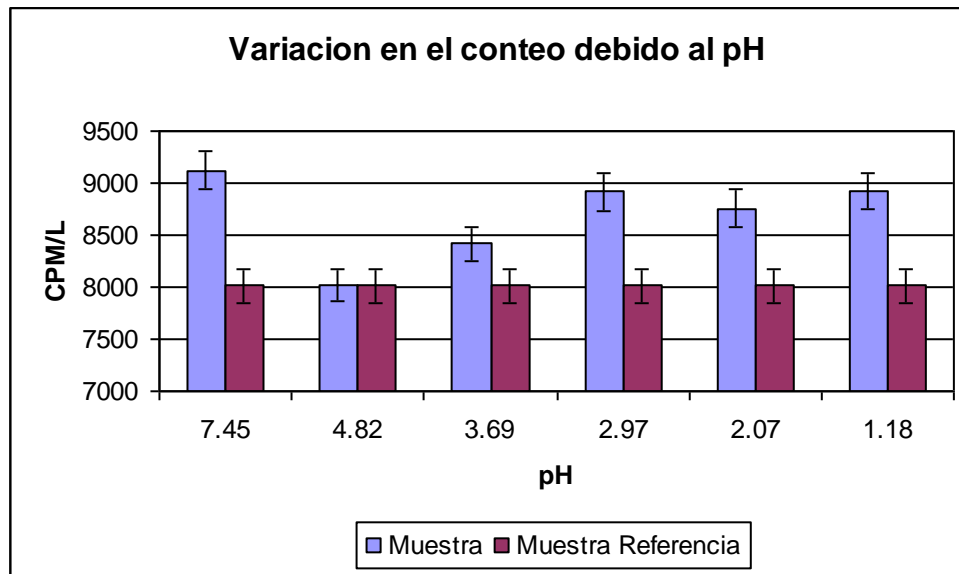
Para comprobar que tanto afecta la acidez en el análisis por la técnica de centelleo liquido para determinar  $^{99}\text{Tc}$ . Se toman seis viales, conteniendo un volumen de 5ml de pertecnetato de sodio, a los cuales se les agrega ácido clorhídrico con el fin de variar su pH.

Procedimiento se describe a continuación:

- En seis beaker se coloca una misma cantidad de Pertecnetato de sodio, se agrega una cantidad diluida de acido clorhídrico a cada muestra.
- Una vez variado el pH en cada muestra se agregan 5ml de cada solución la cual se vierte a los diferentes viales que contienen 15 ml de cóctel de centelleo.
- Luego se analiza en el equipo de centelleo por un tiempo de 60 minutos por duplicado



Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente grafica:



**Figura 3.2.1** Variabilidad de cuentas por minuto y por litro medidas por el equipo para diferente valor de pH en muestras enriquecidas con la misma cantidad de pertecnato de sodio.

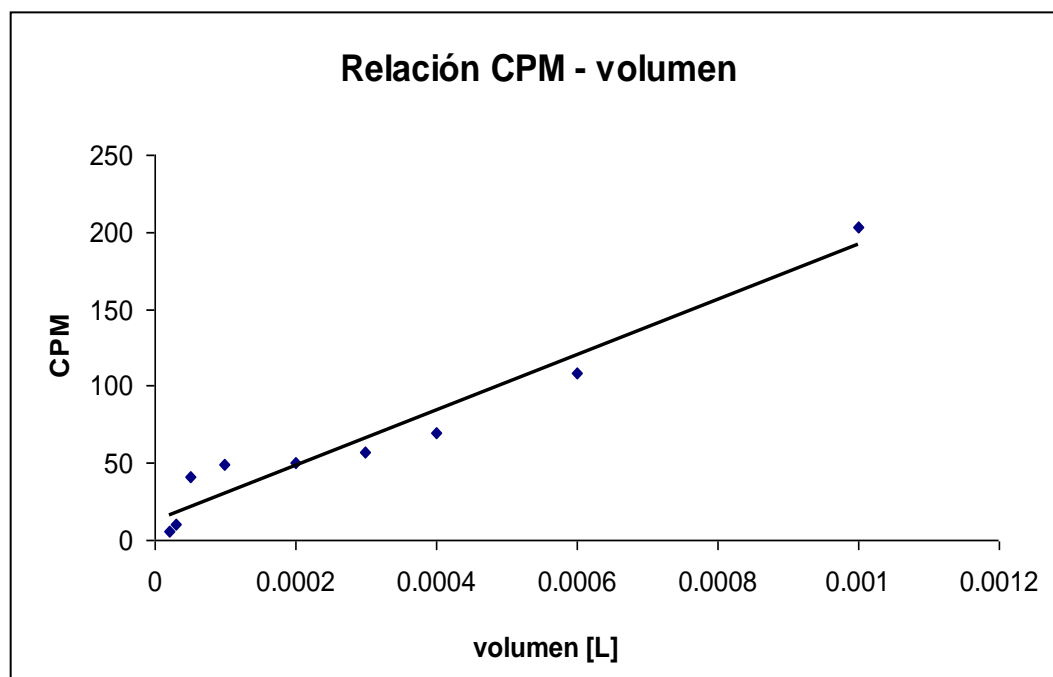
En el grafico se refleja, que para un valor de pH, entre 1 a 3 y 7 a 8, la muestra se comporta de manera similar, la variación es como máximo de una a tres cuentas por minuto, sin embargo en el rango de 4 a 5, las cuentas por minuto registradas son inferiores al promedio  $8692 \pm 65$  CPM/L. Las muestras tomadas en los puntos en que se esta evaluando el contenido del radionucleido está entre los valores de pH de 7 a 8, el cual es precisamente en estos valores de pH en los que se encuentra el número de cuentas más alto (ver anexo III).

### 3.3. RELACIÓN DE TASA DE CONTEO Y VOLUMEN DE SOLUCIÓN DE PERTECNETATO DE SODIO

Con la finalidad de establecer, un parámetro que nos ayude a encontrar el contenido del radionucleido en las muestras. Se realiza la siguiente curva con volúmenes conocidos de solución salina de pertecnato de sodio ( $^{99m}\text{Tc}$ ).

Para preparar las muestras con pertecnetato de sodio, se extraen diferentes volúmenes de solución, la cuales son incorporadas a los diferentes viales debidamente etiquetados. De esta solución se extraen parcialmente las diferentes cantidades de volumen, para agregarse a cada uno de los viales con el cóctel de centelleo. Finalmente se analizan por triplicado un tiempo de 90 minutos en el equipo de centelleo líquido (ver anexo IV)

Los resultados se muestran a continuación:



**Figura 3.3.1** Resultados obtenidos, para diferentes volúmenes de solución de Pertecnetato de sodio y el número de Cuentas Por Minuto.

La ecuación que relaciona el volumen (Variable independiente) y CPM (Variable dependiente) es:  $CPM = 178772V + 12.55$ ;  $V$ = volumen de solución de  $^{99}\text{Tc}$

La fuerza de dependencia entre estas variables es tal que el coeficiente de correlación  $R = 0.97$ , por lo que se puede confiar en un 97% en la utilización de dicha formula.

Con los datos presentados en la curva solo podría decirse que, una muestra que presente un CPM entre los valores que se observan en la gráfica, le corresponden una cantidad en Volumen de solución de Pertecnetato de sodio que según la ecuación presentada relaciona.

## Capítulo 4

### MÉTODO EXPERIMENTAL

Las muestras para ser analizadas efectivamente y obtener resultados exitosos para la investigación, se utiliza una metodología específica tanto para la colección y para el tratamiento químico de las mismas. En este capítulo se detallan cada uno de los procedimientos antes mencionados para cada tipo de muestra considerada en la investigación.

#### 4.1. MATERIALES E INSTRUMENTACIÓN

Para llevar a cabo la metodología que más adelante se detalla es necesario auxiliarse de una serie de instrumentación y material, además del equipo de centelleo líquido, que a continuación se detalla:

- Recipientes plástico de un litro, con rosca en la tapadera
- Guantes de latex
- Hielera
- Termómetro graduado en grados Celsius
- Sistema de Posicionamiento Global (GPS)
- Viales con una capacidad volumétrica de 20ml
- Beaker con capacidad de 1000 ml, 600 ml y 500 ml
- Micro pipetas
- Papel filtro
- Agua destilada
- HCl al 1 M
- NaOH al 4.5 %
- Probetas de 10 ml y de 25 ml
- Tolueno
- Éter de petróleo
- Acetona
- Matraz equipado con condensador de reflujo
- Embudo buchner
- Hot plate
- Embudo común
- Erlenmeyer de 125 ml
- Balón aforado de 100 ml, 150 ml y 500 ml

- Balón volumétrico de 250 ml y 500 ml
- Agitador de vidrio
- Vidrio reloj
- Balanza analítica
- Equipo de centelleo líquido Modelo TRI – CARB 2100TR

Antes de proceder a coleccionar todas las muestras en estudio, se lavan los recipientes con agua destilada para evitar contaminación de la muestra con contaminantes ajenas a los que están en la muestra.

## **4.2. COLECCIÓN DE MUESTRAS**

Para la obtención de muestras líquidas, se realiza aleatoria mente y se dividió la zona de interés en 3 zonas las cuales obedecían a condiciones de accesibilidad al sitio de muestreo.

En todas las muestras los parámetros generales se detallan a continuación:

- Antes de proceder a coleccionar la muestra se lavan los recipientes con agua destilada para evitar una posible contaminación de la muestra por agentes externos.
- En el lugar seleccionado se marcan las coordenadas con el GPS
- Se mide la temperatura del agua y se extrae la muestra a una profundidad que no sobrepasa los 10cm, Se rotula con el número de muestra, día y hora de la colección de la muestra.
- Finalmente la muestra se transporta en una hielera

### **4.2.1. OBTENCIÓN DE MUESTRAS LÍQUIDAS EN ESTERO DE JALTEPEQUE Y BOCANA DE RÍO LEMPA**

La obtención de muestras en esta zona se realiza siguiendo los aspectos mencionados anteriormente.

Las muestras se codifican reflejando el nombre del lugar de la colección el tipo de muestra y el número de muestra.

El código impuesto corresponde a:

BRL: Bocana del Río Lempa

PEJL: La Puntilla Estero de Jaltepeque

L: Muestra Líquida

Los últimos dos números corresponden a el número de muestra

**Tabla 4.2.1.1 Muestras colectadas en la bocana del río Lempa y entrada del Estero de Jaltepeque (La Puntilla), el día 07/11/03**

Muestra	Hora	Latitud Norte	Longitud Oeste
BRL01	10:31 a.m.	13° 16' 34"	88° 47' 44"
BRL02	11:18 a.m.	13° 16' 45"	88° 47' 34"
BRL03	12:14 p.m.	13° 16' 50"	88° 47' 50"
PEJL04	10:12 a.m.	13° 17' 18"	88° 52' 57"
PEJL05	11:12 a.m.	14° 17' 18"	89° 52' 57"

(Ver anexo V)

#### **4.2.2. OBTENCIÓN DE MUESTRAS LÍQUIDAS EN EL RÍO TOMAYATE URBINA, CUSCATANCINGO**

Las muestras se codifican siguiendo el mismo patrón que el apartado anterior, teniéndose que tal codificación corresponde a:

CRUL: Cuscatancingo Río Urbina

L: Muestra líquida

Los últimos dos números corresponden al número de muestra

Tablas 4.2.2.1 Muestras Líquidas, colectadas en Cuscatancingo y Río Tomayate Urbina.

Muestra	Día	Hora	Latitud Norte	Longitud Oeste
CRUL06	11/11/03	03:40 p.m.	13° 44' 03"	89° 10' 15"
CRUL07	11/11/03	03:45 p.m.	13° 44' 03"	89° 10' 15"
CRUL08	14/11/03	02:20 p.m.	13° 43' 56"	89° 10' 17"
CRUL09	14/11/03	02:30 p.m.	13° 43' 55"	89° 10' 15"
CRUL10	14/11/03	02:42 p.m.	13° 44' 03"	89° 10' 16"
CRUL11	14/11/03	02:48 p.m.	13° 44' 05"	89° 10' 18"
CRUL12	18/11/03	03:05 p.m.	13° 44' 03"	89° 10' 16"
CRUL13	18/11/03	03:12 p.m.	13° 43' 56"	89° 10' 17"
CRUL14	18/11/03	03:21 p.m.	13° 43' 55"	89° 10' 15"
CRUL15	24/11/03	02:15 p.m.	13° 44' 03"	89° 10' 16"
CRUL16	24/11/03	02:23 p.m.	13° 43' 56"	89° 10' 17"
CRUL17	24/11/03	02:32 p.m.	13° 43' 55"	89° 10' 15"
CRUL18	25/11/03	02:32 p.m.	13° 44' 03"	89° 10' 16"
CRUL19	25/11/03	02:56 p.m.	13° 43' 56"	89° 10' 17"
CRUL20	25/11/03	03:18 p.m.	13° 43' 55"	89° 10' 15"
CRUL21	26/11/03	02:00 p.m.	13° 44' 03"	89° 10' 16"
CRUL22	26/11/03	02:18 p.m.	13° 43' 56"	89° 10' 17"
CRUL23	26/11/03	02:31 p.m.	13° 43' 55"	89° 10' 15"

(Ver anexo VI)

#### 4.2.3. OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE LANGOSTINOS

Las muestras fueron colectadas en zonas alrededor del estero de Jaltepeque, utilizando la separación de zonas que la compañía PESQUERA DEL SUR ha realizado para la producción de Langostino y camarón.

Siendo estas zonas de interés para la investigación, las que se presentan en la figura y se detallan a continuación:

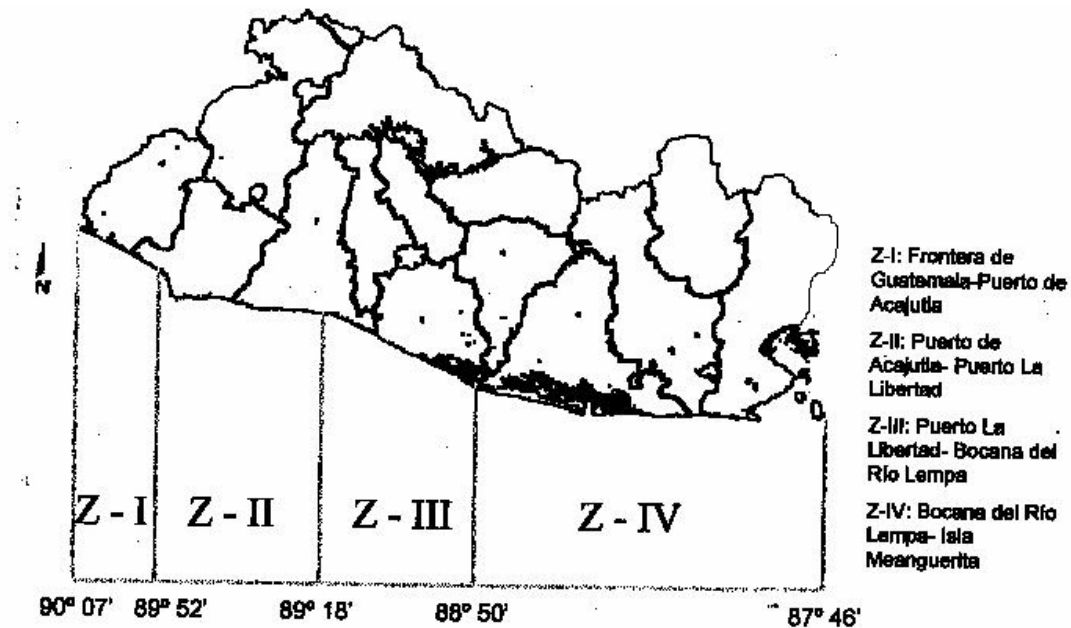


Figura 4.3.1 Mapa de Zonas de Muestreo de Langostinos

- **Zona III:** comprende desde el puerto La Libertad hasta La Bocana del Río Lempa, cuyas coordenadas longitudinales son: 89° 18' y 88° 50', y el punto de muestreo fue de una profundidad aproximada de 25 km
- **Zona IV:** comprende desde la Bocana del Río Lempa hasta la isla Meanguerita, cuyas coordenadas longitudinales son: 88° 50' y 87° 46', y el punto de muestreo fue de una profundidad aproximada de 15 km

Una vez delimitada las zonas de colección de las muestras, el proceso para llevar a cabo la colección de las mismas es el siguiente:

- Las muestras se colectan usando una malla tradicional de pesca provista por un barco para este propósito

- El langostino se coloca en un recipiente plástico previamente etiquetado con el número de muestra, profundidad y Zona de colección (ver anexo VII)
- Se almacena en una hielera para ser utilizado durante un periodo no mayor de 10 días para no preservarse con sustancias adicionales.

Las muestras colectadas se codifican de acuerdo al nombre del lugar de la colección el tipo de muestra y el número de muestra.

El código que en este muestreo se le impone corresponde a:

ZN: zona, en el cual también se detalla el número de la misma

LG: Muestra de Langostino

Los últimos dos números corresponden al número de muestra

**Tabla 4.2.3.1 Datos generales de las Muestras de Langostinos en Cada una de las Zonas**

<b>Muestra</b>	<b>Periodo de colección</b>	<b>Zona</b>
ZN3LG24	20-28/01/2004	Zona III
ZN3LG25	20-28/01/2004	Zona III
ZN3LG26	20-28/01/2004	Zona III
ZN3LG27	20-28/01/2004	Zona III
ZN3LG28	20-28/01/2004	Zona III
ZN4LG29	12-18/02/2004	Zona IV
ZN4LG30	12-18/02/2004	Zona IV
ZN4LG31	12-18/02/2004	Zona IV
ZN4LG32	12-18/02/2004	Zona IV
ZN4LG33	12-18/02/2004	Zona IV



Seguidamente del procedimiento detallado anteriormente, una vez que se tienen las muestras, es necesario caracterizarlas; en esta investigación se tiene la siguiente caracterización de las muestras de langostinos:

- Los langostinos utilizados en este estudio se conoce con los siguientes nombres: nombre vulgar; *langostino chileno*, nombre científico; *pleuroncodes planipes*.
- El tamaño y proporción en promedio, de las muestras clasificados de acuerdo al género y zona se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 4.2.3.2 Características de las muestras de langostino en las zonas costeras de El Salvador.**

	Zona 3		Zona 4	
	Proporción	Cefalotórax (mm)	Proporción	Cefalotórax (mm)
Macho	53 %	39.1 ± 0.01	59 %	40.2 ± 0.01
Hembra	47 %	32.4 ± 0.01	41 %	33.1 ± 0.01

#### 4.2.4. OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE ALGAS

Las muestras de algas (*Microcystis spp*) que se utilizan son especies del medio de agua dulce; y estas son colectadas en puntos alrededor del lago de Suchitlan, debido a que es uno de los lugares que también están conectados a la cuenca del río Lempa, cuyos vertidos que lleva su caudal en gran parte pertenecen a las aguas vertidas del área metropolitana.

El proceso a seguir para la colección de las muestras de algas se detalla a continuación (ver anexo VIII):

- Se colecta en frascos de plástico

- Cada frasco se etiqueta con los respectivos datos (coordenadas del sitio de colección, número de muestra)
- Se almacena dentro de una hielera para ser utilizado durante un periodo no mayor de 10 días, para no preservarse con sustancias adicionales.

Seguidamente del proceso anterior las algas colectadas se codifican de acuerdo al nombre del lugar de colección, tipo de muestra y el número de muestra.

El código utilizado en este muestreo corresponde a:

SCH: Laguna de Suchitlan

AG: Muestra de alga

Los últimos dos números corresponden al número de muestra

**Tabla 4.2.4.1 Muestras de algas colectadas en el Lago de Suchitlan el día 07/03/2004**

Muestra	Latitud Norte	Longitud Oeste
SCHAG34	13° 58' 49"	89° 08' 00"
SCHAG35	13° 58' 49"	89° 08' 00"
SCHAG36	13° 58' 49"	89° 00' 30"
SCHAG37	13° 58' 48"	89° 00' 31"
SCHAG38	13° 58' 48"	89° 00' 31"
SCHAG39	13° 58' 11"	89° 00' 24"
SCHAG40	13° 56' 29"	89° 00' 33"
SCHAG41	13° 56' 29"	89° 00' 33"
SCHAG42	13° 56' 29"	89° 00' 33"

### 4.3. TRATAMIENTO DE MUESTRAS

El tratamiento de las muestras se realiza de acuerdo al tipo de muestra en estudio. En este apartado las muestras atraviesan por un procedimiento químico, el cual sirve para eliminar agentes que podrían causar interferencia en la medición de la radiación.

Debido a que todas las muestras no son del mismo medio, no todas se contaminan por las mismas componentes o agentes interferentes por lo que se evalúa el medio y se hace procedimientos o pruebas exclusivamente para lo que se desea eliminar en cada muestra.

#### **4.3.1. MUESTRAS LÍQUIDAS**

Las muestras líquidas colectadas anteriormente se tratan en el Laboratorio con el fin de mejorar el análisis en el equipo de centelleo líquido (ver anexo IX).

Cada muestra pasa por el siguiente proceso:

- Filtración con papel filtro ( eliminar partículas en suspensión)
- Medir el pH de la muestra
- Agregar ácido clorhídrico si es necesario a la muestra con el fin de mejorar el pH de tal manera que la capacidad de centelleo sea el óptimo
- En el vial donde se ha colocado previamente 15 ml de cóctel de centelleo, se añaden 4ml de la muestra anteriormente tratada y se agita con el fin de homogenizar la muestra.
- Cuando se ha homogenizado totalmente la muestra se procede a analizar en el equipo de centelleo líquido.
- Luego de un tiempo de corrimiento en el equipo se analizan los resultados

#### **4.3.2. MUESTRAS DE LANGOSTINOS**

Una vez que se hace la colección de las muestras, dependiendo de las especies o especie se debe proceder a un tratamiento en laboratorio, para el caso de los langostinos se efectúa los siguientes pasos:

- Las muestras son lavadas en agua corriente
- Se separa el caparazón de la carne, desechándose la carne

- Luego se lava con agua destilada, y se seca en una estufa eléctrica a 100°C por 24 horas aproximadamente
- Las muestras secas se trituran en un mortero para obtener la muestra en forma de polvo; luego de esto es recomendable usarlo en el mismo momento, pero de no ser así la muestra se debe envasar en un frasco de vidrio y conservar a temperatura ambiente, y en un sitio adecuado para evitar la absorción de humedad
- Las muestras de langostas pulverizadas, se someten a un proceso de despigmentación química con la mezcla de agua destilada, acetona y éter de petróleo (en un 75%, 15% y 10% de cada sustancia respectivamente). Para ello se coloca la muestra en un matraz provisto de agitación magnética, por 30 minutos a temperatura ambiente
- Posteriormente del proceso anterior se procede a filtrar el producto en un embudo Buchner y finalmente se seca a temperatura ambiente durante 12 horas aproximadamente (liberando el exceso de agua)
- El producto obtenido en la fase anterior se somete a un proceso de descalcificación, mediante tratamiento con ácido clorhídrico al 1 M durante una hora a temperatura ambiente, en un matraz con agitación constante. La relación masa de la muestra/volumen de disolución ácida que se usa es de 1/10
- Seguidamente de ello, se procede a filtrar en un embudo Buchner, haciendo lavados con agua destilada hasta alcanzar la neutralidad del medio
- El tratamiento siguiente al anterior es la desproteínización química, la cual se lleva a cabo en un matraz equipado con condensador de reflujo, mediante el empleo de hidróxido de sodio al 4.5%, con una relación masa de la muestra/volumen de disolución básica de 1/15. El proceso se realiza durante 1 hora aproximadamente, a 65°C y con agitación constante
- El producto obtenido en el paso anterior se purifica filtrando en un embudo Buchner y realizando lavados con agua destilada caliente hasta lograr la eliminación del exceso de base
- De las muestras de langostino previamente tratado se extrae 1 g de este en estado pulverizado para agregarlo en 15ml de tolueno, agitándolo hasta homogenizarlo totalmente (ver anexo X)

- Se filtra varias la muestra homogenizada en papel filtro fino
- Finalmente de este procedimiento la muestra está apta para diluirlo en tolueno y agregarle cóctel de centelleo

#### **4.3.3. MUESTRAS DE ALGAS**

Para tratar las muestras de algas de agua dulce, colectadas en puntos alrededor del lago de Suchitlan, antes de la diluirlas en el cóctel de centelleo; debe ser sometida a un procedimiento químico y hacerlo con sumo cuidado ya que estas especies se encuentran disueltos en agua, por lo que para el caso se sigue lo siguiente:

- Las algas colectadas se filtran para separarlas del agua de los sitios de colección hasta obtener una masilla
- Luego se mezcla dicha masilla con tolueno hasta obtener un líquido homogéneo
- Después se utiliza papel filtro fino para filtrar la mezcla anterior hasta obtener una sustancia transparente, teniéndose en cuenta que si anteriormente fue homogenizada la sustancia, el líquido transparente que constituye el analito contiene sustancias presentes en las muestras de algas
- Una vez obtenido el analito se toma 5 ml aproximadamente de él y se diluye con el cóctel de centelleo

## Capítulo 5

### MONTAJE EXPERIMENTAL Y MÉTODO DE ANÁLISIS

#### 5.1. MONTAJE EXPERIMENTAL

Para efectuar el montaje experimental, en esta investigación, después de haber hecho el tratamiento químico en cada una de las muestras en estudio se siguen los pasos que se detallan (ver anexo XI):

- A cada 15 ml de cóctel de centelleo se le agrega aproximadamente 5 ml de la solución de la muestra
- Luego de unir las dos soluciones descritas anteriormente, se agita el vial para homogenizar la solución
- Después de homogenizar la solución en cada uno de los viales de polietileno de 20 ml, e identificados cada uno de ellos se coloca en un porta vial debidamente codificado y reconocido por el equipo de centelleo líquido
- El porta vial que contiene los viales identificados, se coloca en el equipo de centelleo
- Seguidamente en el software especial para registrar las lecturas de radiación en el equipo de centelleo; se abre un archivo con los respectivos parámetros (tiempo, tipo de muestra, tipo de radiación) que se incluyen para efectuar el registro de conteo de la radiación
- Luego se inicia con el análisis de las muestras en el equipo de centelleo

## 5.2. MÉTODO DE ANÁLISIS

Las muestras se analizan mediante el arreglo formado en el equipo de centelleo líquido, el cual se muestra en la figura que se presenta a continuación:

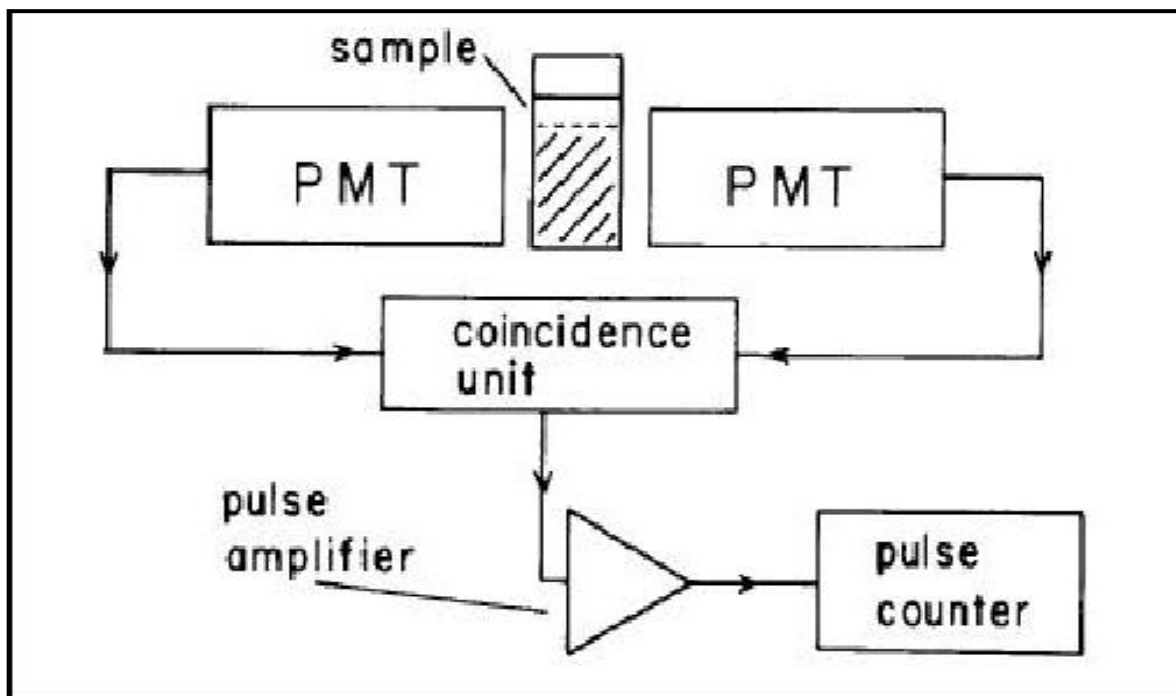


Figura 5.2.1 Diseño del Montaje del Equipo de Centelleo Líquido

En la aplicación de la técnica de centelleo líquido se generan los siguientes fenómenos físicos detallados:

Los destellos de luz producidos entre la muestra y el cóctel colisionan en el cátodo del Tubo Foto Multiplicador (PMT). Los electrones se arrojan produciendo un pulso eléctrico que es proporcional al número de destello de luz (fotones). Este equipo de Centelleo Líquido (LSC) tiene dos PMT. La amplitud del pulso de PMT depende de la localización del evento dentro del contenedor. Por ejemplo si en un evento se producen 100 fotones este es representado por un pulso más grande si el evento es más cerca al PMT comparado con un evento más remoto.

La señal de cada PMT solo es registrada en el circuito si dos señales ocurren juntas, eso es dentro del tiempo de resolución del circuito, que es aproximadamente 20 nanosegundos (coincidencia en el circuito). Por la suma, la amplitud de los pulsos de cada PMT es aumentada y se tiene un rendimiento que es proporcional a la intensidad total producida en el centellador (pulso analógico).

Luego esta amplitud del pulso eléctrico se convierte en un valor digital (0 ó 1) que representa la energía de la partícula beta y en el analizador multicanal estos valores digitales producidos por el LSC son comparados de acuerdo a su intensidad; debido a que cada canal cuenta con una hendidura de memoria de almacenamiento y que tienen la capacidad para registrar un rango de energía entre 0-2000 keV.

Finalmente este número de pulsos en cada canal es impreso o desplegado en una pantalla (CRT) y de esta manera, la muestra pueda ser analizada a través de un espectro que se traza para proporcionar información de CPM (cuentas por minuto) sobre la energía de radiación (ver anexo XII).



## Capítulo 6

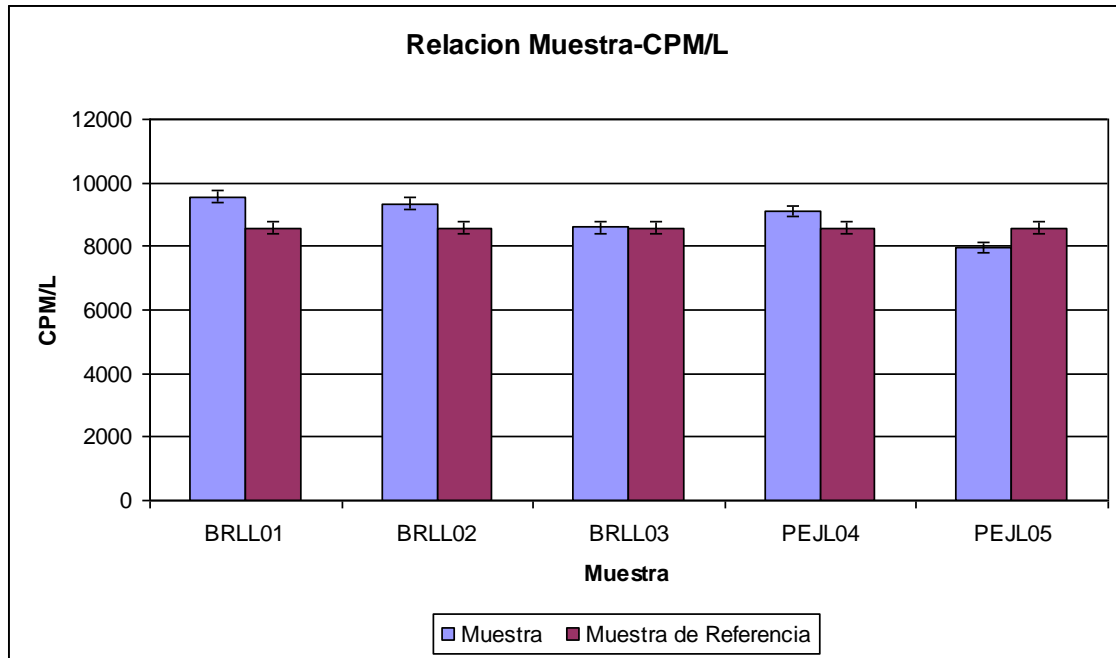
### ANÁLISIS DE RESULTADOS

El muestreo que aquí se presenta se lleva a cabo en diferentes lugares de nuestro país, los cuales fueron seleccionados acuerdo a un estudio previo de los diferentes caudales que recogen aguas residuales de la zona metropolitana de San Salvador, siendo el principal transportador de agua residual el colector número dos ubicado en la Colonia Santa Margarita, Cuscatancingo; el cual deposita sus aguas en el Río Tomayate Urbina en las coordenadas  $13^{\circ} 43' 56''$  de latitud norte y  $89^{\circ} 10' 17''$  de longitud oeste; el cual conduce sus aguas al caudaloso Río Lempa que deposita sus aguas en el Océano Pacífico en  $13^{\circ} 16' 34''$  de latitud norte y  $88^{\circ} 47' 44''$  de longitud oeste. Las muestras de algas se colectan en el Lago Suchitlan entre las coordenadas ( $13^{\circ} 56' 29'' - 13^{\circ} 58' 49''$ ) de latitud norte y ( $89^{\circ} 00' 24'' - 89^{\circ} 08' 00''$ ) longitud oeste y las muestras de langostino se colectan por zonas a lo largo de las costas de El Salvador partiendo del puerto de la Libertad y finalizando en la isla Meanguerita.

Las muestras se analizan según la técnica descrita en el capítulo 4, en donde se especifican los pasos que se sigue para cada una de ellas desde la colección hasta la obtención de la información.

#### 6.1 MUESTRAS LÍQUIDAS COLECTADAS EN ESTERO DE JALTEPEQUE Y BOCANA DE RÍO LEMPA

Las muestras son colectadas y tratadas se analizan en el equipo de centelleo líquido un tiempo de 90 minutos, la medición se realiza por triplicado para mejorar la estadística. En este análisis de la muestra se corre un vial con 15 ml de cóctel de centelleo para obtener el fondo radiactivo y otro con 15 ml de cóctel de centelleo al cual se le agrega 5ml de agua destilada, la que sirve como **blanco**; el resultado en promedio para este análisis resulta ser para el fondo de **5786 ± 43 CPM/L**.



**Figura 6.1.1** Muestras colectadas en la bocana del río Lempa y entrada del Estero de Jaltepeque.

De estas muestras, por ser estas de la zona donde se combina el agua de mar con el agua proveniente del río Lempa, presentan una mayor salinidad la cual afecta grandemente el análisis por la técnica. La muestra con más salinidad es la que denominamos PEJL05, a la que se tuvo que disminuir la cantidad de muestra agregada a los 15 ml de cóctel siendo 2 ml de muestra en lugar de 4 ml como en el resto de muestras; por ello esta muestra se encuentra por debajo del blanco (ver anexo XIII).

## 6.2 MUESTRAS LÍQUIDAS EN EL RÍO TOMAYATE URBINA, CUSCATANCINGO

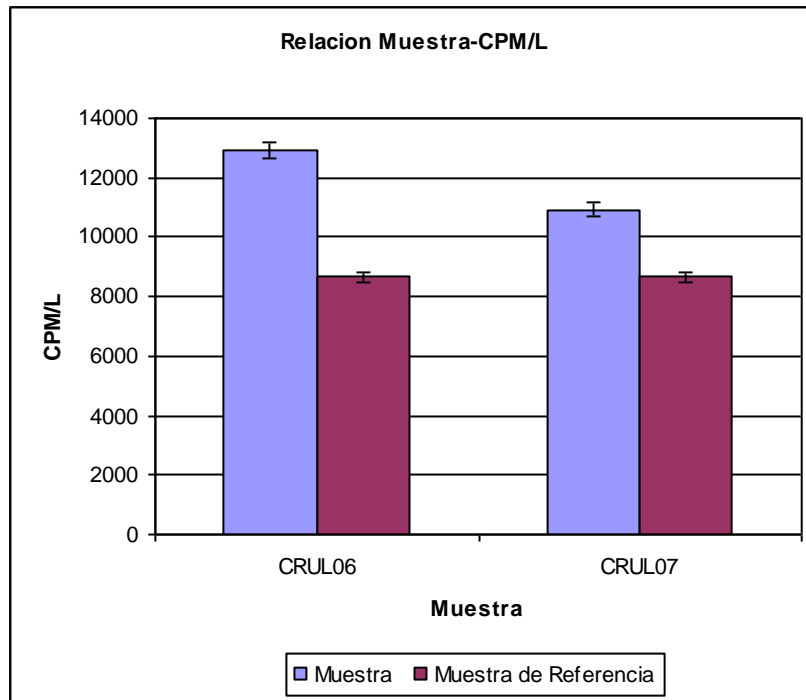
Las muestras se colectadas y tratadas se analizan como lo descrito en el apartado anterior.

Las muestras se colectan en el río conocido como Tomayate Urbina ubicado en la Col. Santa Margarita en el municipio de Cuscatancingo San Salvador, donde se encuentra situado el colector interceptor de ANDA que recoge casi el 60% las aguas residuales

provenientes de la zona Metropolitana de San Salvador. El sitio se encuentra ubicado entre los  $13^{\circ} 43' 56''$  de latitud Norte y  $89^{\circ} 10' 17''$  de longitud Oeste.

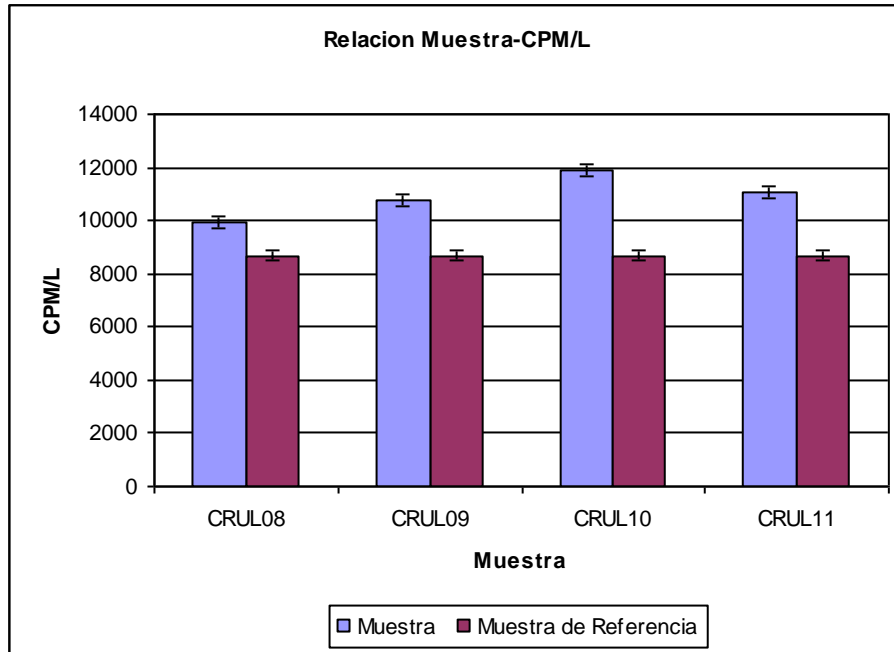
El muestreo se lleva a cabo en diferentes días del mes de noviembre de 2003.

Los resultados obtenidos se muestran como sigue:



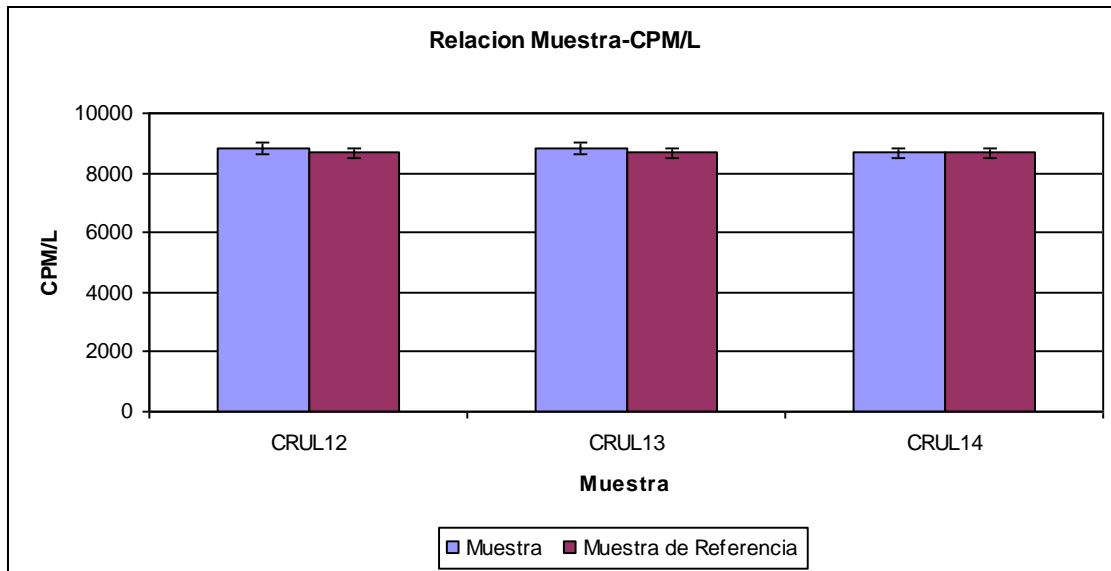
**Figura 6.2.1** Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 11 de noviembre de 2003.

Estas muestras reflejan claramente el contenido de radiación, la diferencia respecto al blanco lo evidencia, ya que para este se obtuvo  $8672 \pm 54$  CPM/L, observe que la muestra CRUL06 excede a la muestra de referencia en  $4246 \pm 38$  CPM/L, lo que confirma la existencia radiactiva en la muestra (ver anexo XIV).



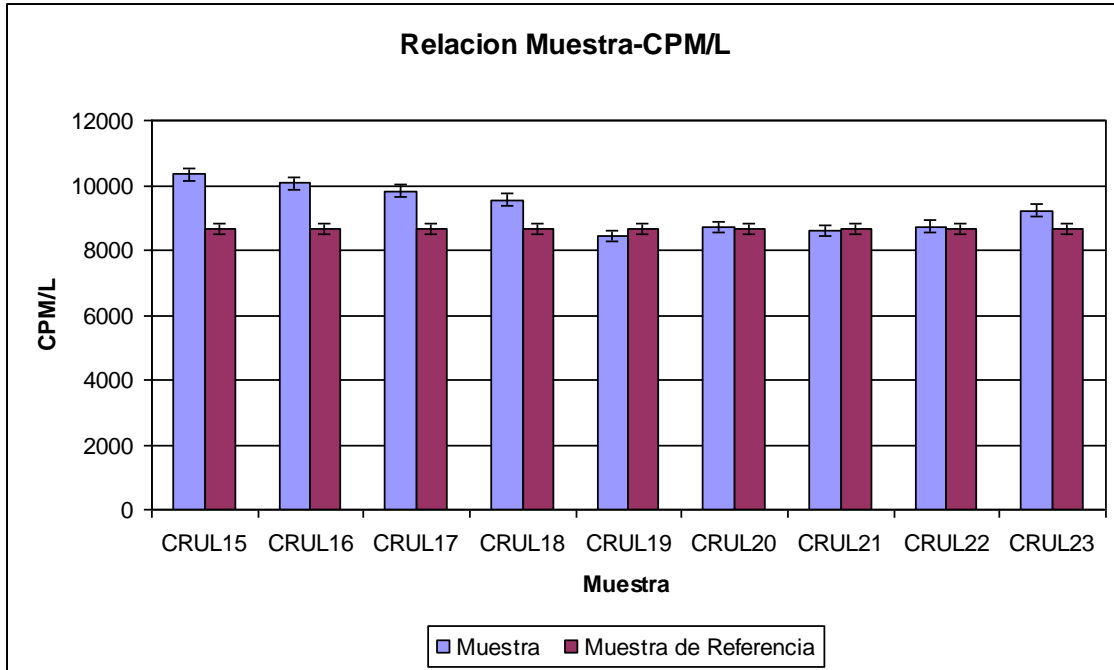
**Figura 6.2.2** Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 14 de noviembre de 2003.

Las muestras, presentadas en esta figura al igual que la figura anterior evidencia el contenido de radiactividad. El blanco para este día es de  $8678 \pm 54$  CPM/L. En promedio las muestras andan en valor de cuentas por minuto y por litros igual que las muestras anteriores (ver anexo XV)



**Figura 6.2.3** Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 18 de noviembre de 2003.

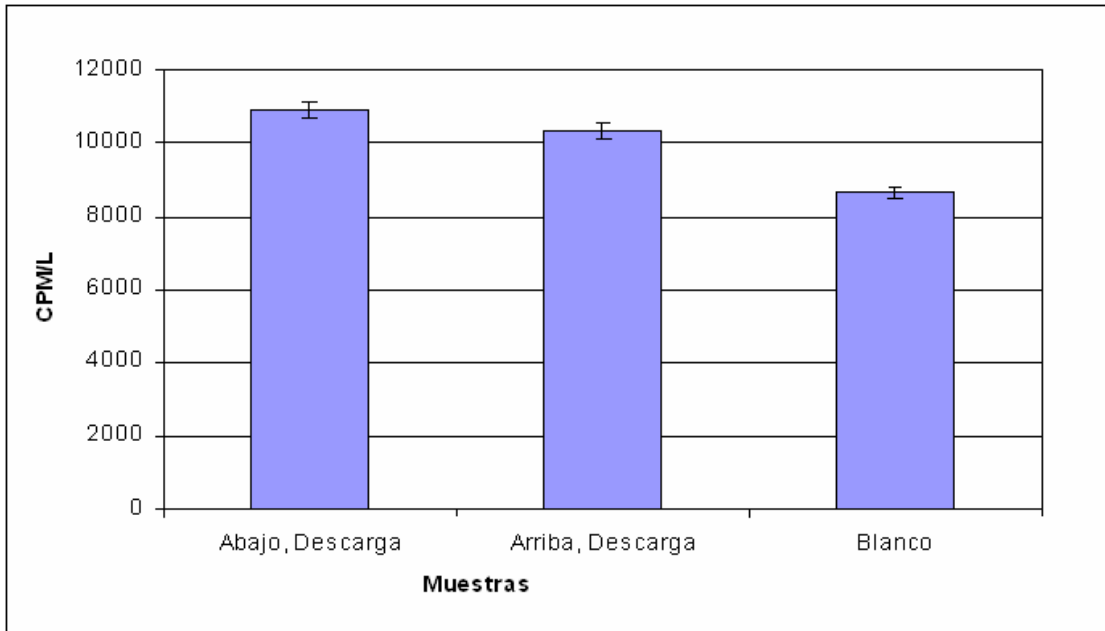
Las muestras que aquí se presentan, a diferencia de las anteriores no se observa diferencia aparente respecto al blanco, para este día el blanco es de  $8666 \pm 54$  CPM/L, en promedio las muestras presentan  $149 \pm 8$  CPM/L, la muestra CRUL14 presenta solo una diferencia respecto al blanco de 6 CPM/L (Ver anexo XVI)



**Figura 6.2.4** Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 24, 25 y 26 de noviembre de 2003.

Las muestras como en los casos anteriores reflejan la presencia de radiación, en esta comparación, el análisis de las muestras se hace en conjunto, aunque fueron colectadas diferentes días. Se presentan en la misma figura debido a que el blanco es el igual para todas. El blanco para estas muestras es de  $8668 \pm 54$  CPM/L, Como se observa las muestras en promedio anda alrededor de  $642 \pm 9$  CPM/L (Ver anexo XVII).

La siguiente figura relaciona las Cuentas por Minuto y por Litro en promedio encontradas para la zona bajo y arriba del punto de descarga del colector interceptor de **ANDA**



**Figura 6.2.5** Comparación entre las muestras tomadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, noviembre de 2003.

La figura anterior evidencia, el nivel superior de radiación encontrado para las muestras colectadas abajo del punto de descarga  $2250 \pm 19$  CPM/L, para las muestras colectadas arriba del punto de descarga  $1662 \pm 18$  CPM/L, por lo que se puede decir, que si no el cien por ciento de la radiación contabilizada proviene del colector; ya que este aporta aproximadamente un **26%** de la radiación contabilizada en este periodo de muestreo.

### 6.3 MUESTRAS DE LANGOSTINO

Los resultados que se obtienen en las muestras de langostinos, después de haber aplicado la técnica de centelleo líquido, se detallan en este apartado por cada zona de muestreo, con su respectivo análisis, según las cuentas por minuto de radiación obtenida en las mismas.

Los datos de conteo que se muestran pertenecen langostinos de la zona según corresponda; cada una de las muestras en general se contabiliza un intervalo de 90 minutos. Sus lecturas de cuentas presentadas en la gráfica se han hecho en base a la cantidad de masa contenida

en cada muestra y se ha comparado con una muestra al que se le llama muestra de referencia; esta muestra de referencia o blanco contiene los agentes adicionales que a cada de ellas se le debe agregar para poder efectuar la dilución con el cóctel de centelleo. Para el caso, como en el tratamiento químico se vio necesario agregar tolueno para disolver la muestra ya tratada, se usa como blanco, solución de 5 ml de tolueno con 15 ml de cóctel de centelleo. Pero también a esta muestra se modifica la forma en que se dan a conocer las lecturas, puesto que las muestras que diluyen se expresa por unidades de masa; por esa razón hay que emplear la densidad del tolueno para luego expresar las lecturas de radiación en unidades de masa.

En las gráficas presentadas se comparan las muestras en estudio con el blanco respectivo, que se ha utilizado como muestra patrón; en el cual a partir de ella se pueden sacar conclusiones acerca de la presencia o ausencia de  $^{99}\text{Tc}$  en cada una de las muestras analizadas.

Cada muestra analizada en cada vial contiene  $3.3 \times 10^{-4}$  kg de langostino, por lo que las cuentas por minuto de radiación se presentan por cada kg de dicha muestra

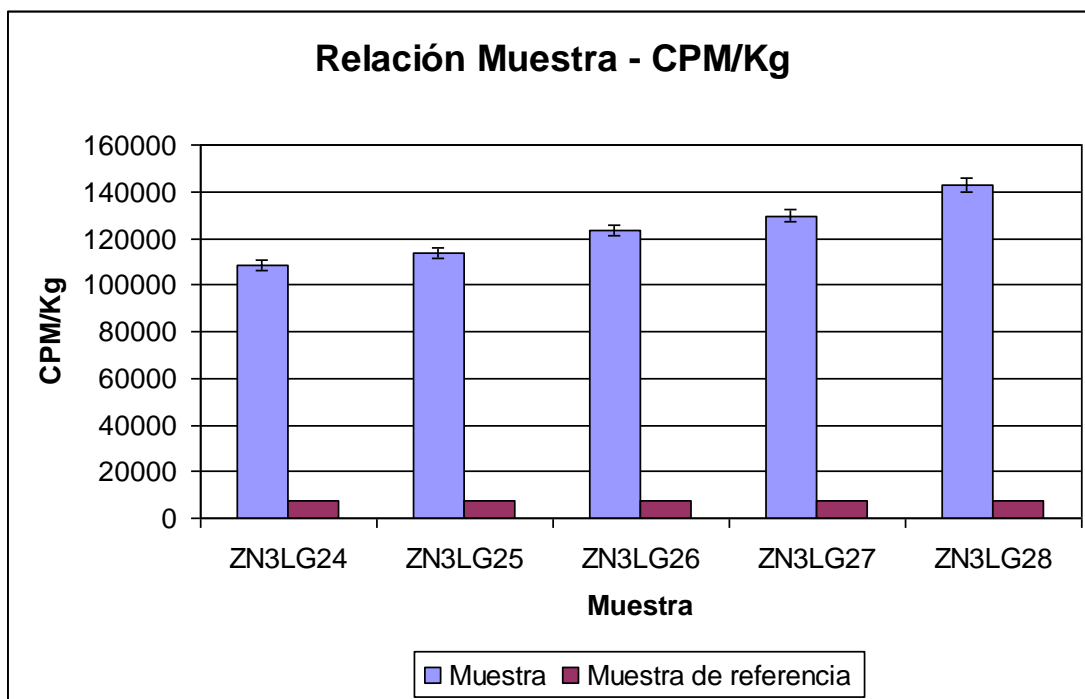
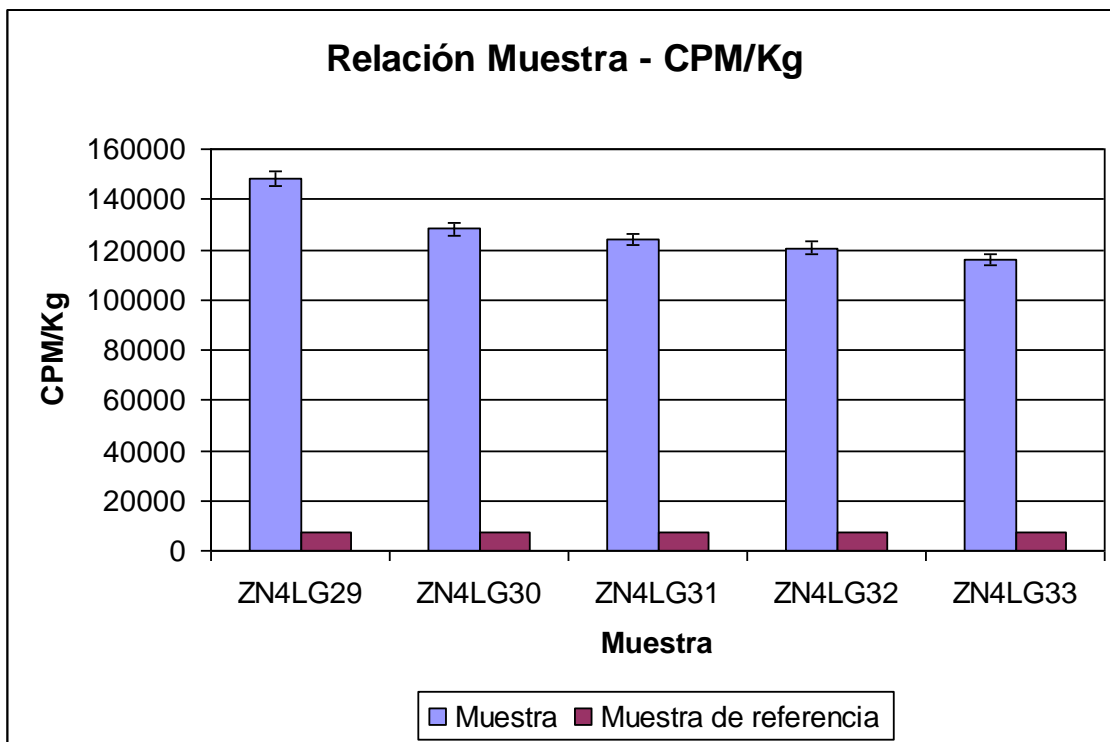


Figura 6.3.1 Gráfica de datos correspondientes a Langostinos de la zona 3



La gráfica de datos correspondientes a la zona 3 se tiene muestras con poco tiempo de permanencia en el medio, ya que esa zona es la más explotada por la industria pesquera; pero a pesar de ello la presencia de  $^{99}\text{Tc}$  en las muestras por unidad de kg. de masa de la muestra es considerable.

La presencia de contaminación considerable por  $^{99}\text{Tc}$  en esta zona se puede deber a las descargas casi directas de aguas provenientes de la zona metropolitana de El Salvador, ya que allí se encuentra la desembocadura del río Jiboa, la desembocadura del río Lempa; que también lleva en su caudal aguas provenientes del río Acelhuate cuyo recorrido por el área metropolitana tiene descargas de colectores que llevan aguas vertidas del área en mención (ver anexo XVIII).



**Figura 6.3.2** Gráfica de datos correspondientes a langostinos de la zona 4

En esta zona la presencia considerable de contaminación por  $^{99}\text{Tc}$  se le puede atribuir a la permanencia mas prolongada de las muestras en el medio, ya que esta zona es menos explotada por la industria pesquera.

Acerca de esta cabe mencionar también que existen pocas aguas de descargas provenientes del área metropolitana; pero a pesar de ello también se pueden contaminar las especies que en ella se encuentran, porque las aguas que en la zona 3 se descargan y se distribuyen en toda las masas de agua oceánica.

En comparación, la zona 3 relacionada con la zona 4, a pesar de lo antes descrito acerca de las zonas se puede decir que la presencia de  $^{99}\text{Tc}$  en promedio es aproximadamente igual. Ya que se toma en cuenta que la zona 4 sus especies permanecen expuestos a la contaminación de las aguas de los vertidos por mas tiempo que las especies de la zona 3 (ver anexo XIX).

#### **6.4 MUESTRAS DE ALGAS**

En las muestras de algas colectadas en el lago de Suchitlan, se siguió similar análisis que en los langostinos. Para este caso, como se vio necesario agregar tolueno para disolver la muestra de alga ya filtrada; se usa como muestra blanco o muestra de referencia para el análisis, solución de tolueno con cóctel de centelleo, utilizando el mismo procedimiento de preparación que la muestra de referencia para langostinos.

Cada muestra de alga analizada en cada vial contiene  $2.5 \times 10^{-4}$ kg de masilla de alga, por lo que las cuentas por minuto de radiación se presentan por cada kg de la muestra.

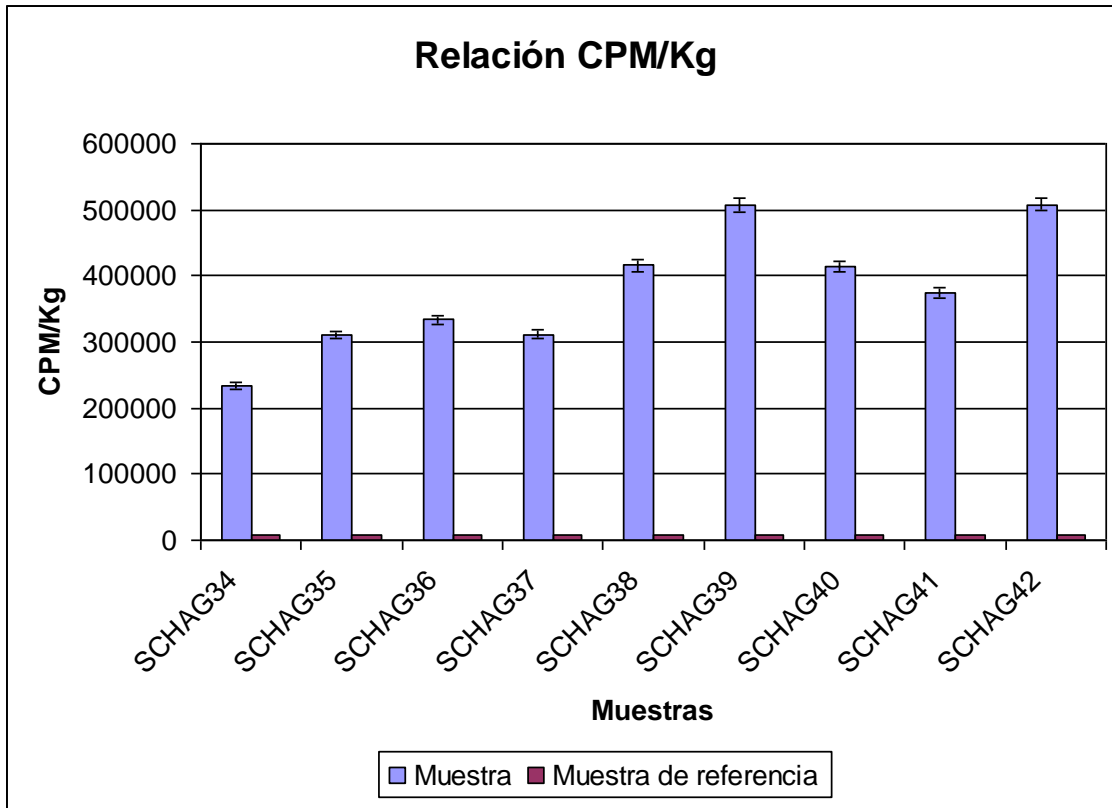
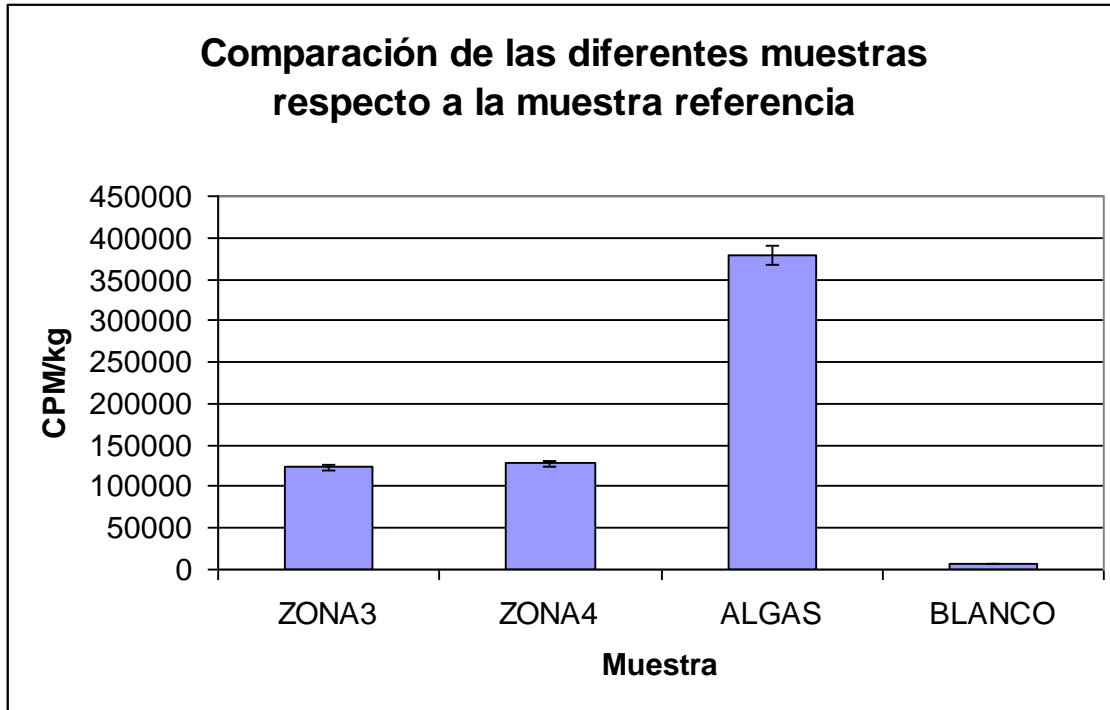


Figura 6.4.1 Gráfica de datos correspondientes a algas del lago de Suchitlan

Los resultados de contaminación por  $^{99}\text{Tc}$  obtenidos para las muestras de algas del área del lago de Suchitlan son más altos en comparación con los datos que se tienen de las muestras de langostinos.

La zona que se utiliza para muestrear algas es un lugar más cercano al punto de desembocadura del río Acelhuate al río Lempa; y este lago es alimentado con las aguas provenientes del río Lempa que se considera contaminado por  $^{99}\text{Tc}$  y de otros más que para este estudio se asume que no pueden estar contaminados de  $^{99}\text{Tc}$  (ver anexo XX).

En la siguiente figura se muestran las relaciones de sustancia radiactiva en cada una de ellas en comparación con la información obtenida de la muestra de referencia.



**Figura 6.4.2** Gráfica de comparación de datos promedios obtenidos por las muestras de langostinos y algas

Para las muestras que se relacionan en la gráfica anterior como puede observarse que la mayor cantidad de contaminación por  $^{99}\text{Tc}$  lo presentan las muestras de algas. Este comportamiento puede estar relacionado con la zona de colección de dichas muestras, ya que estas pertenecen a un sitio en el cual las descargas de los vertidos están menos diluidas, en comparación con la zona en que se colectan los langostinos.

Sin embargo los langostinos también presentan considerable presencia de contaminación, ya que ellos por su estadía en el medio tienden a acumular dicha contaminación y además ha sido demostrado en estudios realizado por otros países que éstos especímenes son los que más se ven favorecidos a acumular  $^{99}\text{Tc}$ .

Todas las relaciones hechas en las muestras reflejan que el contenido de radiación es evidente, por su diferencia respecto al blanco, lo cual se refleja en cada uno de los gráficos, no cabe la menor duda que las muestras son emisoras de radiación beta, pero que la eficiencia del conteo no permite cuantificar que cantidad del radionucleido está presente ya

que no se cuenta con un estándar de referencia que permita establecer con certeza la eficiencia del conteo para partículas beta emitidas por una fuente de  $^{99}\text{Tc}$  y así poder establecer comparaciones confiables.

Para agua potable el estándar permitido en los Estados Unidos es de **33.33 Bq/L**, el límite para considerar una sustancia que contenga  $^{99}\text{Tc}$ , como residuo radiactivo es de **1.107 Bq/kg**<sup>[13]</sup>. (Ver anexo XXI)

Las dosis utilizadas en medicina para tratar pacientes adultos de unos **70 kg** van desde unos **18.5 – 740 MBq**. Por ejemplo, para la obtención de imagen de la glándula de la tiroides, la dosis aplicada va desde **37.0 – 370 MBq** (1 a 10 Milicurie)<sup>[14]</sup>. (Ver anexo XXII).

## Capítulo 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

- La técnica de centelleo líquido es aplicable, para medir radiación beta en muestras ambientales; porque se ha logrado determinar (ver anexo XII) presencia de radiactividad en muestras que contienen  $^{99}\text{Tc}$ .
- Las muestras líquidas colectadas en la bocana del río Lempa y entrada del Estero de Jaltepeque ( $13^{\circ} 17'' 18'$  latitud Norte y  $88^{\circ} 52'' 57'$  longitud Oeste) presentan en promedio un nivel de radiación de  **$564 \pm 12$  CPM/L** sobre el nivel del blanco.
- En las Muestras líquidas colectadas en la zona del río Tomayate Urbina  $13^{\circ} 44' 03''$  Norte y  $89^{\circ} 10' 15''$  Oeste, se obtienen cuentas por arriba del blanco. Las muestras colectadas en puntos abajo del sitio de descarga en promedio contienen  **$2250 \pm 19$  CPM/L**, mientras que para las muestras colectadas puntos río arriba registran  **$1662 \pm 18$  CPM/L**; un **26%** de la radiación neta registrada en este periodo de muestreo es proveniente del colector.
- En los langostinos (*Pleuroncodes Planipes*), la cantidad de  $^{99}\text{Tc}$  se acumula en cantidades distintas dependiendo del tiempo de permanencia en el medio y el lugar en que se encuentra en promedio las muestras registran  **$27180 \pm 52$  CPM/kg** (ver figura 6.4.2).
- En las muestras de algas (*Microcystis spp*) el promedio de cuentas encontrado es  **$371225 \pm 272$  CPM/kg**, cuyo valor esta considerablemente arriba de la cantidad detectada en la muestra blanco (ver figura 6.4.1).

- De los resultado presentados en las figura 6.3.1 y 6.3.2 las cuentas promedio de radiación en las muestras de langostinos de la zona 3 es notable con respecto a la lectura que se obtiene en la muestra blanco
- Las muestras reflejan que el nivel de radiación en cada una de ellas es apreciable debido a la diferencia de conteo respecto al blanco, lo que se manifiesta en cada gráfico comparativo (ver figuras del capítulo 6). Las muestras son emisoras de partículas beta. En este estudio no se cuantifica la cantidad del radionucleido presente, debido a que no se cuenta con un estándar de referencia certificado, que permita establecer la eficiencia de conteo en el equipo de Centelleo utilizado y así poder hacer comparaciones confiables y cuantificar el nivel de radiación presente en la muestra.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Seleccionar un cóctel de centelleo óptimo para cada tipo de muestras, consultando las especificaciones del fabricante.
- Elaborar una curva de calibración con un estándar de  $^{99}\text{Tc}$  debidamente certificada.
- Para estudiar las muestras desde el punto de vista cuantitativo, es necesario tener un estándar de referencia de  $^{99}\text{Tc}$ .
- Que se hagan estudios sobre la aplicabilidad de la técnica sobre los rangos de trabajo con muestras con alto contenido salino, ya que esto dificulta la homogeneidad con el cóctel de centelleo.
- Utilizar un estándar de referencia para evaluar los parámetros SIS y tSIE en los análisis de las muestras.

- Comprar estándar de referencia para este tipo de Investigación, gestionados a nivel Institucional o Instituciones Internacionales.
- Seguir con investigaciones en esta línea para cuantificar y cualificar los niveles de radiación en el medio.
- Crear relaciones de colaboración con otras áreas especializadas



**REFERENCIAS**

- [1] Study on Determination of Technetium -99 in Environmental Samples  
Shing-Fa Fang<sup>1</sup> and Tieh-Chi Chu<sup>2</sup>, Division of Health Physics, Institute of Nuclear Energy Research, 1000 Wen-Hua Road, Chiaan Village, Lungtan, Taoyuan, Taiwan 325, Institute of Nuclear Science, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan 300.
- [2] UNIVERSITY OF WISCONSIN – MILWAUKEE, ENVIRONMENTAL HEALTH, SAFETY AND RISK MANAGEMENT, RADIATION SAFETY PROGRAM LIQUID SCINTILLATION COUNTING.
- [3] Analysis of Technetium-99 in Ground and Surface Waters Using Empore TC Rapid Liquid Samplers (RLS) R. Shannon and W. Cavin Paragon Analytics, Inc. R. Osejo TN & Associates A. Vargees<sup>1</sup>, R. Jump, B. Pirasteh, Paragon Analytics, Inc..
- [4] Gpfennig, W. Selman-eggebert y otros. TABLA DE NUCLEIDOS. Sexta edición impreso por DRUCKHAUSHABERBECK, D-32791 Lage, Lippe 1995.
- [5] Entrevista con el Dr. Ronald Torres de la UNRA,
- [6] Standard permitstc99.php. Table D.2. DOE. R. W. Hanf
- [7] <http://www.uwm.edu/Dept/EHSRM/RAD/CONTAMINANTESENMAR.pdf>, julio 2002
- [8] Comisión Internacional de Protección Radiológica, “Recomendaciones 1990”, ICRP-60, Sociedad Española de Protección Radiológica
- [9] <http://lectura.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/094/htm/radia2.htm>, agosto 2002

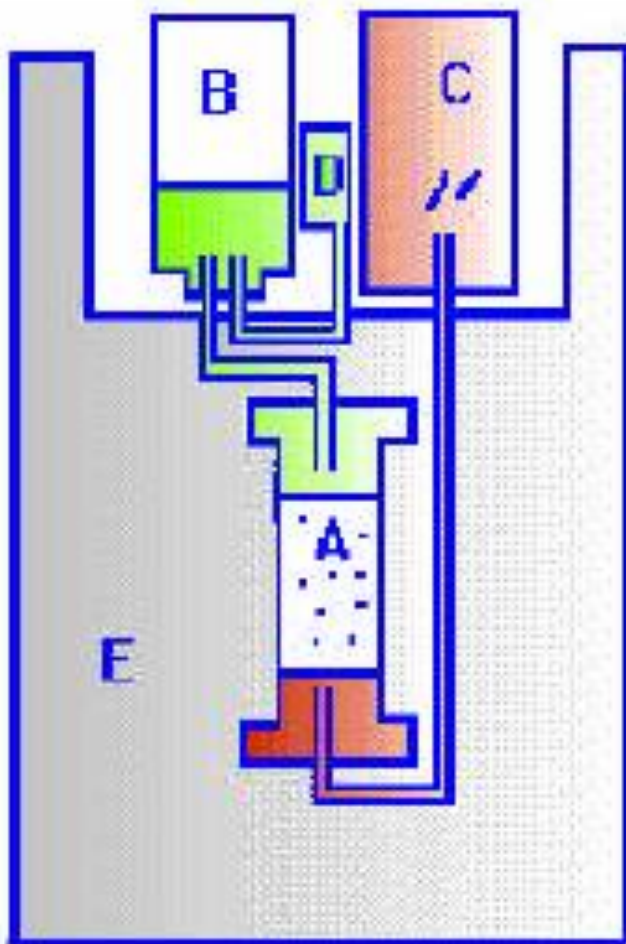
- [10] <http://www.epa.gov/radiation/topics/understand/radionuclides/technetium.htm>  
agosto 2002
- [11] <http://www.uwm.edu/Dept/EHSRM/RAD/HANDOUT.pdf> agosto 2002
- [12] <http://www.prodigyweb.net.mx/degcorp/Quimica/Tecnecio.htm>, agosto 2002
- [13] IAEA-TECDOC-1000 «Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research», del Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena 1998.
- [14] <http://www.nuclearonline.org/PI/Nycomed%20Mo%2099-Tc%2099m%20Genera.pdf>, septiembre 2004.

## BIBLIOGRAFIA

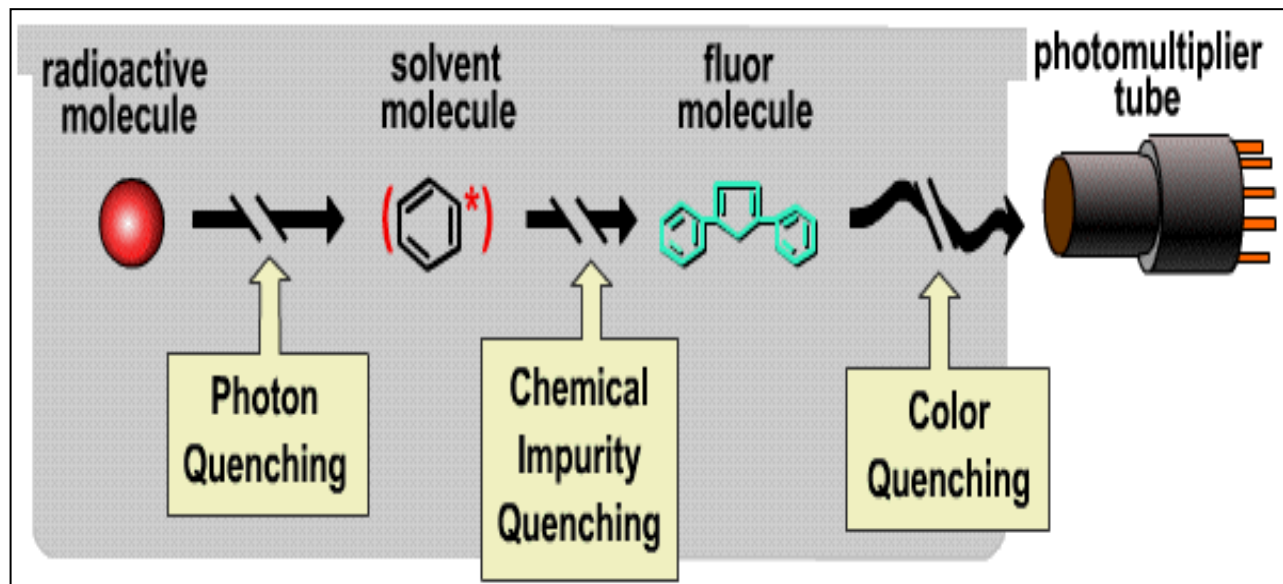
- [01]- <http://www.irpa.net/irpa10/cdrom/00785.pdf>, agosto 2002
- [02]- <http://www.irpa.net/irpa10/cdrom/00867.pdf>, octubre 2002
- [03]- [http://www.eml.doe.gov/publications/procman/Sect4/4\\_5-4Tc.pdf](http://www.eml.doe.gov/publications/procman/Sect4/4_5-4Tc.pdf), septiembre 2002
- [04]- <http://www.irpa.net/irpa10/cdrom/00785.pdf> octubre 2002
- [05]- [http://www.eml.doe.gov/publications/procman/Sect4/4\\_5-4Tc.pdf](http://www.eml.doe.gov/publications/procman/Sect4/4_5-4Tc.pdf), septiembre 2002
- [06]- [http://www.eml.doe.gov/publications/procman/sections/V2\\_Sect4.pdf](http://www.eml.doe.gov/publications/procman/sections/V2_Sect4.pdf) ,  
septiembre 2002
- [07]- <http://www.eml.doe.gov/marlap/draft/chapter12.pdf>, octubre 2002
- [08]- [http://www.3m.com/empore/Library/PDFS/RAD/Tc\\_inter.pdf](http://www.3m.com/empore/Library/PDFS/RAD/Tc_inter.pdf), agosto 2002

- [09]- <http://www.icnbiomed.com/pdfs/lsc.pdf>, octubre 2002
- [10]- <http://www.uwm.edu/Dept/EHSRM/RAD/HANDOUT.pdf>, septiembre 2002
- [11]- <http://www.ortec-online.com/papers/radiochem/method8.pdf>, octubre 2002
- [12]- [http://www.etsu.edu/ospa/rso/SOPs\\_PDF/SOPs\\_PDF/200-Personnel-Monitor/206.pdf](http://www.etsu.edu/ospa/rso/SOPs_PDF/SOPs_PDF/200-Personnel-Monitor/206.pdf) , agosto 2002
- [13]- <http://aaa.nevada.edu/pdffiles/KAZIMI.pdf> , octubre 2002
- [14]- [http://web.mit.edu/hst-program/erelab/paper/Creel\\_methods.doc](http://web.mit.edu/hst-program/erelab/paper/Creel_methods.doc), septiembre 2002
- [15]- <http://www.terra.es/personal2/rmm00005/venografia.htm> , agosto 2002
- [16]- <http://www.cnea.gov.ar/tecno/mo99/mo99.htm> , octubre 2002
- [17]- Hobart H. Willard, Lynne L. Merritt, Jr, John A. Dean, Frank A. Settle, Jr; MÉTODOS INSTRUMENTALES DE ANÁLISIS, grupo editorial Iberoamericano, impreso en México por programas educativos S.A de C.V, septiembre 1992.
- [18]- Nicholas Tsoulfanides. MEASUREMENT AND DETECTION OF RADIATION, University of Missouri Rolla, second edition, 1989.
- [19]- IAEA. ENVIRONMENTAL BEHAVIOUR OF RADIONUCLIDES RELEASED IN THE NUCLEAR INDUSTRY, Vienna, 14-18 may 1973.
- [20]- IAEA. PHYSICAL BEHAVIOUR OF RADIOACTIVE CONTAMINANTS IN THE ATMOSPHERE, Proceedings of a Symposium, Vienna, 12-18 November 1974.

- [21]- TEC DOC OIEA RLA/9/0330. CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN SOBRE CONTROL DE DESCARGAS Y MONITOREO AMBIENTAL DE MATERIAL RADIATIVO ASOCIADO A PRACTICAS MEDICAS E INDUSTRIALES, Santiago de Chile, Chile 11-15 diciembre de 2000.
- [22]- Corina Schmelkes. MANUAL PARA LA PRESENTACION DE ANTEPROYECTOS E INFORMES DE INVESTIGACION (Tesis), Segunda Edición, 1998.
- [23]- A.C. Bajpai, I. M. Calus, J. A. Fairley. Métodos Estadísticos Para Estudiantes de Ingeniería y Ciencias, Primera edición, impreso en Mexico 1981.
- [24]- W.E. BURCHAM. FISICA NUCLEAR, Primera edición, Editorial Reverte, impreso en España 1981.

ANEXO I

Esquema del Generador de  $^{99m}\text{Tc}$ . Donde: (A) Columna de alúmina con  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ; (B) Frasco con solución de NaCl; (C) Frasco receptor del  $^{99m}\text{Tc}$ ; (D) Filtro para paso de aire, (E) Blindaje de plomo.

ANEXO II

Esquema que refleja la producción del efecto Quench

**ANEXO III**

Variabilidad de cuentas por minuto y por litro medidas por el equipo para diferente valor de pH en muestras enriquecidas con la misma cantidad de pertecnetato de sodio

<b>Muestra</b>	<b>pH</b>	<b>CPM/L</b>	<b>SIS</b>	<b>tSIE</b>
1	7.45	9116±67	381.3	347
2	4.82	8018±63	424.5	349
3	3.69	8418±64	424.6	343
4	2.97	8916±66	432.4	346
5	2.07	8758±66	413.2	344
6	1.18	8922±66	425.3	341
Blanco	7.45	8012±63	424.5	343

**ANEXO IV**

Resultados obtenidos, para diferentes volúmenes de solución de Pertecnetato de sodio.

[L]	CPM
0.00002	5.72
0.00003	9.88
0.00005	40.9
0.0001	49.25
0.0002	50.75
0.0003	57.5
0.0004	69.7
0.0006	108.2
0.001	203.75

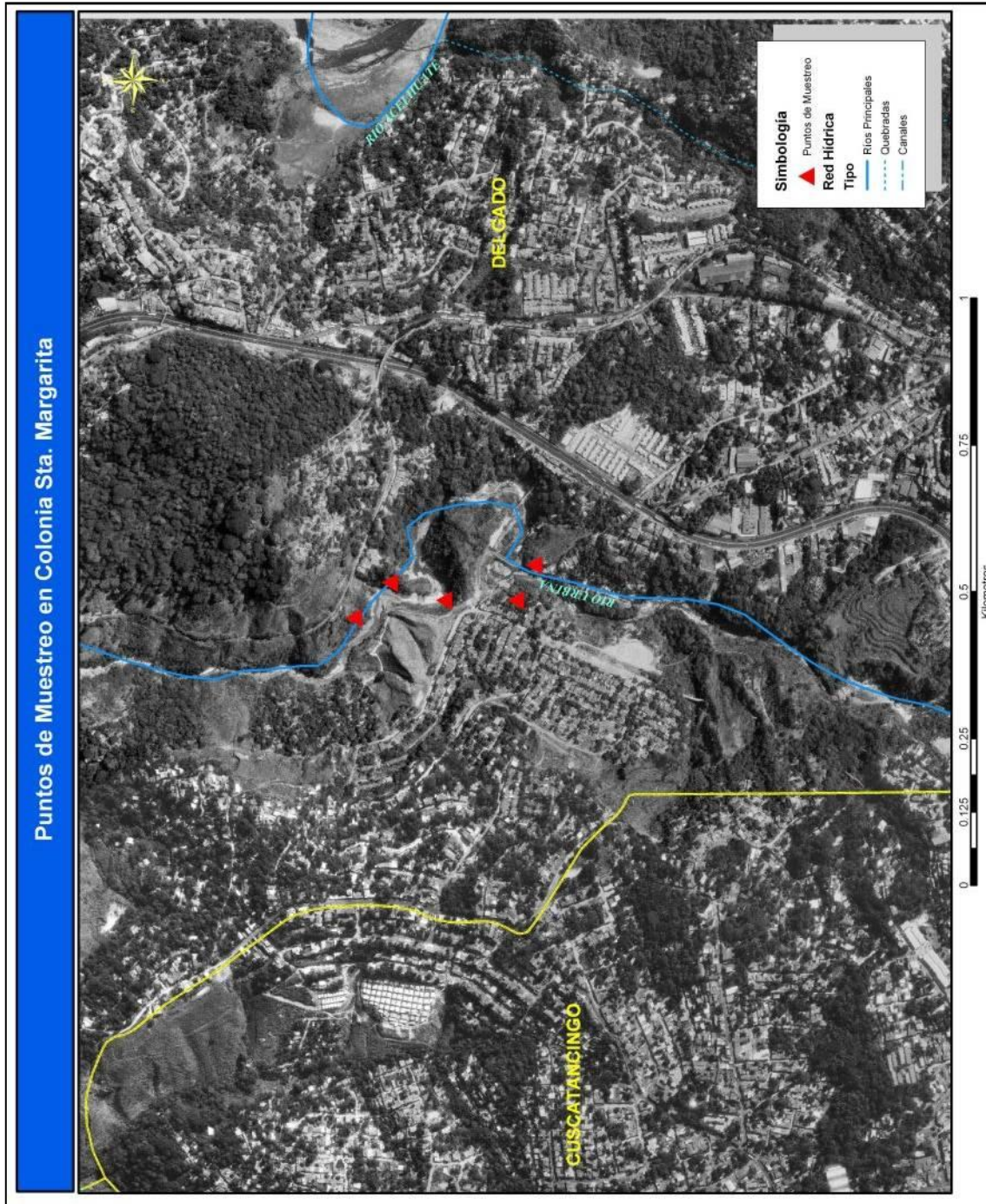


**ANEXO V**



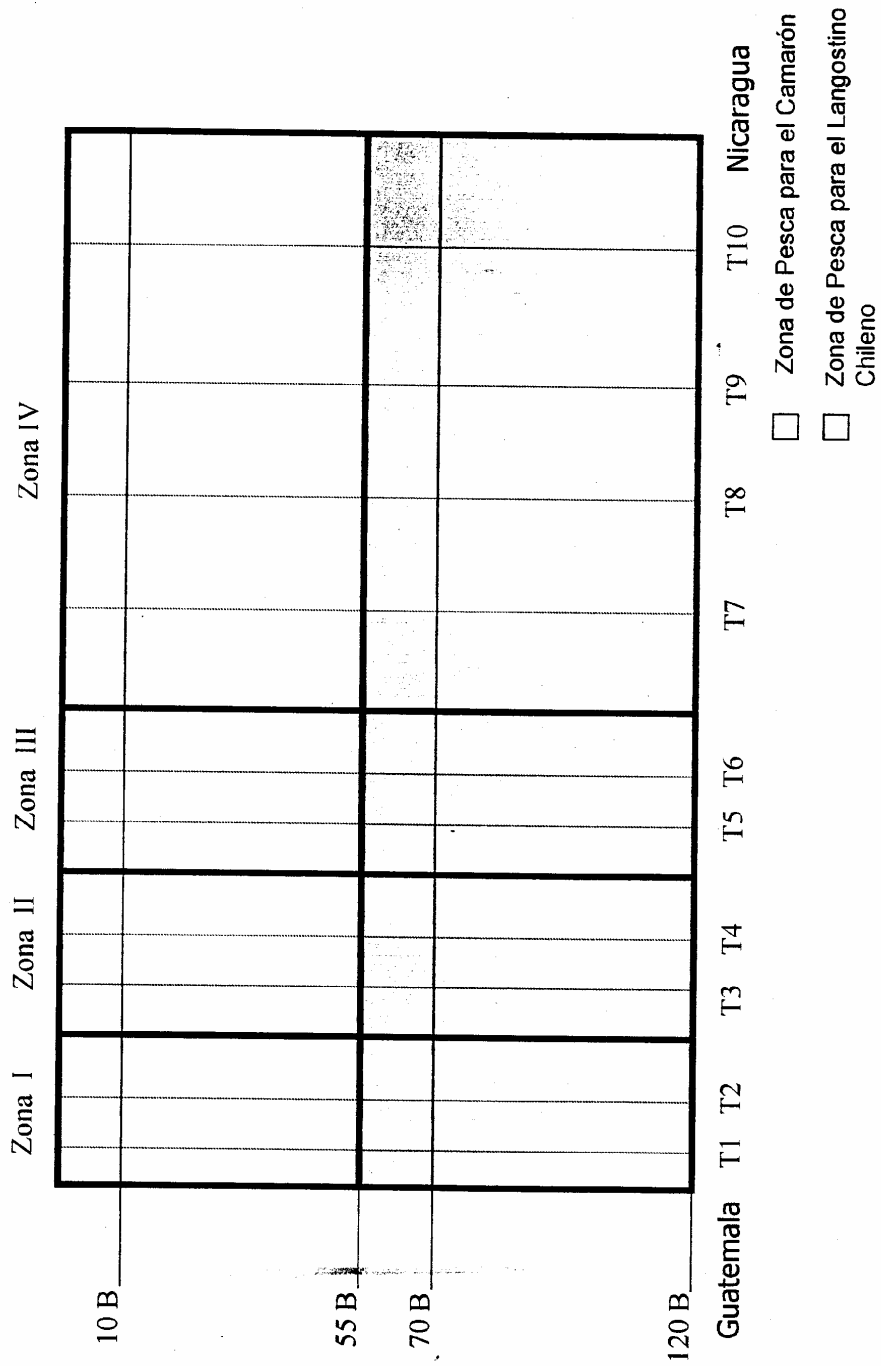
Puntos de muestreo en la zona del Estero de Jaltepec

**ANEXO VI**



Puntos de muestreo en la zona de la colonia Santa Margarita

**ANEXO VII**



Esquema de profundidades de muestreo por cada zona

**ANEXO VIII**



Toma de muestras de algas en la zona de Suchitlan

**ANEXO IX**

Tratamiento de muestras líquidas

**ANEXO X**

Tratamiento de muestras de langostinos

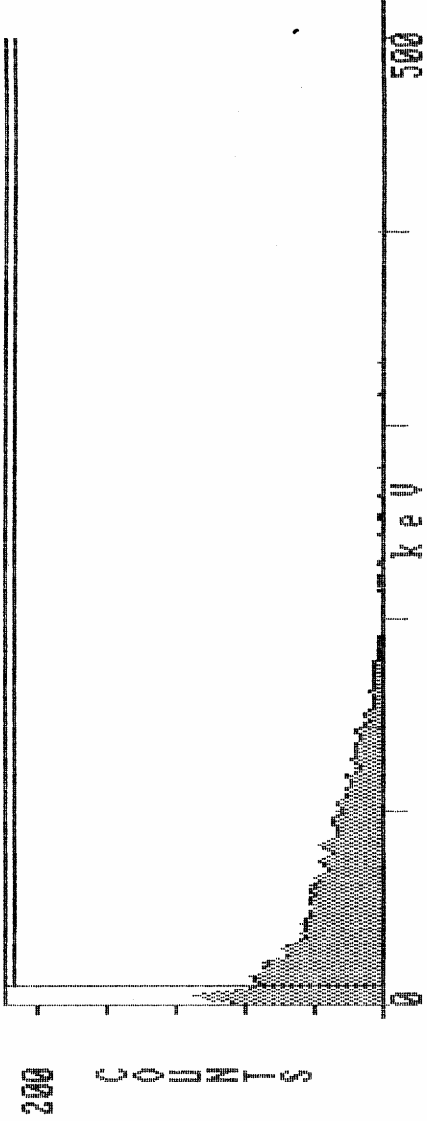
**ANEXO XI**

Procedimiento del montaje experimental

ANEXO XII

SPECTRUM PAGE      COUNTING PROTOCOL 10      27-Jul-04      09:00

S#: 5  
KeV Full Scale? 500  
Time: 43.67  
Region A: 0.0      1000      CPM      25%  
          149.3  
Region B: 10.0      2000      135.0      2.48  
          2.61  
Region C: 0.0      0.0      0.0      0.00



Please select KeV full scale by pressing a function key.

F1-STATUS PAGE    F2-25    F3-50    F4-250    F5-500    F6-1000    F7-2000  
F8-log

Espectro beta de una muestra enriquecida con <sup>99</sup>Tc



**ANEXO XIII**

Muestras colectadas en la bocana del río Lempa y entrada del Estero de Jaltepeque.

<b>MUESTRA</b>	<b>CPM/L</b>	<b>SIS</b>	<b>tSIE</b>	<b>pH</b>
BRLL01	9550 ± 56	358,26	343	7,47
BRLL02	9352 ± 55	370,04	343	7,46
BRLL03	8594 ± 53	396,31	341	7,47
PEJL04	9104 ± 17	373,48	402	7,46
PEJL05	7982 ± 51	414,50	418	7,47
Blanco	8586 ± 53	388,23	349	7,45

**ANEXO XIV**

Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 11 de noviembre de 2003.

<b>Muestra</b>	<b>CPM/L</b>	<b>SIS</b>	<b>tSIE</b>	<b>pH</b>
CRUL06	12918 ± 66	272.61	345	7.44
CRUL07	10936 ± 60	324.32	341	7.45
Blanco	8672 ± 54	389.21	350	7.45

**ANEXO XV**

Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 14 de noviembre de 2003.

<b>Muestra</b>	<b>CPM/L</b>	<b>SIS</b>	<b>tSIE</b>	<b>pH</b>
CRUL08	9934 ± 57	352.00	337	7.44
CRUL09	10774 ± 60	338.16	338	7.43
CRUL10	11870 ± 63	318.34	339	7.45
CRUL11	11092 ± 61	318.36	346	7.45
Blanco	8678 ± 54	388.36	346	7.45

**ANEXO XVI**

Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 18 de noviembre de 2003.

Muestra	CPM/L	SIS	tSIE	pH
CRUL12	8816 ± 54	386.96	340	7.44
CRUL13	8814 ± 54	395.21	341	7.44
CRUL14	8672 ± 54	398.96	344	7.45
Blanco	8666 ± 54	392.86	345	7.45

**ANEXO XVII**

Muestras colectadas en el río Tomayate Urbina, Col Santa Margarita, Cuscatancingo; cercanías colector interceptor de ANDA, día 24, 25 y 26 de noviembre de 2003.

<b>Muestra</b>	<b>CPM/L</b>	<b>SIS</b>	<b>tSIE</b>	<b>pH</b>
CRUL15	10340 ± 59	344.05	349	7.44
CRUL16	10060 ± 58	345.65	339	7.43
CRUL17	9830 ± 57	356.96	342	7.44
CRUL18	9552 ± 56	373.14	340	7.44
CRUL19	8420 ± 53	408.90	340	7.45
CRUL20	8726 ± 54	391.08	342	7.43
CRUL21	8596 ± 54	401.52	333	7.45
CRUL22	8738 ± 54	402.21	342	7.44
CRUL23	9214 ± 55	380.74	335	7.45
Blanco	8668 ± 54	396.82	343	7.45

**ANEXO XVIII**

Detalla los datos obtenidos en las muestras, acerca de su respectivo conteo neto de radiación por kilogramo de la muestra y valores de parámetros SIS y tSIE respectivos

<b>MUESTRA</b>	<b>CPM/Kg</b>	<b>SIS</b>	<b>tSIE</b>
ZN3LG24	9970 ± 58	467.22	487
ZN3LG25	15586 ± 72	433.56	473
ZN3LG26	25045 ± 91	408.54	477
ZN3LG27	31171 ± 102	399.7	476
ZN3LG28	44264 ± 121	362.12	479
BLANCO	7557 ± 39	452.67	486

**ANEXO XIX**

Datos obtenidos en las muestras, su respectivo conteo de radiación y valores de parámetros SIS y tSIE encontrados en la misma

<b>MUESTRA</b>	<b>CPM/Kg</b>	<b>SIS</b>	<b>tSIE</b>
ZN4LG29	50180 ± 129	342.41	482
ZN4LG30	29910 ± 100	405.2	481
ZN4LG31	25676 ± 93	417.98	480
ZN4LG32	22342 ± 86	425.98	482
ZN4LG33	17658 ± 77	423.4	487
BLANCO	7557 ± 39	452.67	486

**ANEXO XX**

Contiene datos sobre cuentas por minuto por cada kilogramo de la muestra

MUESTRA	CPM/Kg	SIS	tSIE
SCHAG34	102920 ± 185	297.63	474
SCHAG35	179200 ± 244	229.29	483
SCHAG36	202240 ± 260	210.35	487
SCHAG37	180520 ± 245	233.92	484
SCHAG38	284720 ± 308	185.65	479
SCHAG39	376200 ± 354	148.59	456
SCHAG40	283800 ± 308	181.93	444
SCHAG41	243040 ± 285	199.31	448
SCHAG42	377040 ± 355	153.56	451
BLANCO	7557 ± 39	452.67	486



**ANEXO XXI**

Valores de concentración de actividad por unidad de masa (\*), para diferentes radionucleidos

Radionucleido	Concentración de actividad (Bq/g)	Radionucleido	Concentración de actividad (Bq/g)
H-3	1 E06	Sr-89	1 E03
C-14	1 E04	Y-90	1 E03
Na-22	1 E01	Mo-99	1 E02
Na-24	1 E01	Tc-99	1 E04
P-32	1 E03	Tc99m	1 E02
S-35	1 E05	In-111	1 E02
Cl-36	1 E04	I-123	1 E02
K-42	1 E02	I-125	1 E03
Ca-45	1 E04	I-131	1 E02
Ca-47	1 E01	Pm-147	1 E04
Cr-51	1 E03	Er-169	1 E04
Co-57	1 E02	Au-198	1 E02
Co-58	1 E01	Hg-197	1 E02
Fe-59	1 E01	Hg-203	1 E02
Ga-67	1 E02	Tl-201	1 E02
Se-75	1 E02	Ra-226	1 E01
Sr-85	1 E02	Th-232	1 E00

(\*) Estos valores han sido tomados de: IAEA-TECDOC-1000 «Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research», del Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena 1998.

**ANEXO XXII**

Rango de dosis empleado para diagnósticos varios en promedio, para pacientes adultos (70 kg)

Indication	Megabequerels	Millicuries
Vesico-ureteral imaging (pediatric or adult)	18.5 - 37.0	0.5 - 1
Brain imaging	370.0 - 740.0	10 - 20
Thyroid gland imaging	37.0 - 370.0	1 - 10
Salivary gland imaging	37.0 - 185.0	1 - 5
Placenta localization	37.0 - 111.0	1 - 3
Nasolacrimal drainage system imaging	3.70 (max.)	0.100 (max.)
Blood pool imaging	370.0 - 110.0	10 - 30
In PEDIATRAIC patients:		
Brain imaging:	5.2 - 10.4 MBq, 140-280 $\mu$ Ci per kilogram body weight	
Thyroid gland imaging:	2.2 - 3.0 MBq, 60 - 80 $\mu$ Ci per kilogram body weight	
Blood pool imaging:	5.2 - 10.4 MBq, 140 - 280 $\mu$ Ci per kilogram body weight. A minimum dose of 111.0 - 185.0 MBq, 3 - 5 mCi should be employed if radionuclide angiography is performed as part of the blood pool imaging procedure.	
Vesico-ureteral imaging:	18.5 - 37.0 MBq, 0.5 - 1.0 mCi	