

Evaluación y caracterización de la matriz vegetación para el Plan de Monitoreo Radiológico Ambiental del Centro Atómico Ezeiza

***CARRERA: ESPECIALIZACIÓN EN
RADIOQUIMICA Y APLICACIONES NUCLEARES***

Alumna: Lic. Noelia Soledad Capalbo

Director: Lic. Ariel Novello

Co-Directora: Lic. Gabriela Almada

Fecha: Diciembre 2014



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

Índice

Resumen.....	4
---------------------	----------

Capítulo 1.....	5
------------------------	----------

Vigilancia Radiológica Ambiental

1.1 Vías de Exposición Humana	5
--	----------

1.1.1 Descargas Atmosféricas

1.1.2 Descargas Líquidas

1.2 Grupo más Expuesto.....	8
------------------------------------	----------

1.3 Protección Radiológica.....	9
--	----------

1.4 Monitoreo Ambiental.....	10
-------------------------------------	-----------

1.4.1 Objetivo Principal

1.4.2 Objetivos Específicos

Capítulo 2.....	13
------------------------	-----------

Plan de Monitoreo Radiológico Ambiental del Centro Atómico Ezeiza – CAE

2.1 Objetivo y Alcance.....	13
------------------------------------	-----------

2.2 Centro Atómico Ezeiza.....	13
---------------------------------------	-----------

2.2.1 Aspectos Geográficos

2.2.2 Aspectos Meteorológicos

2.3 Puntos de Muestreo.....	16
2.4 Vías de descarga de radionucleidos artificiales.....	18
2.4.1 Descarga Atmosférica	
2.4.2 Descarga Líquida	
2.5 Matrices Ambientales.....	20
2.5.1 Agua Superficial	
2.5.2 Sedimentos	
2.5.3 Agua Subterránea	
2.5.4 Concentración de radionucleidos en el suelo	
2.5.5 Concentración de radionucleidos en el aire	
2.5.6 Tasa de Dosis Equivalente Ambiental	
2.6 Registros.....	25
Capítulo 3.....	26
<i>Matriz Ambiental Vegetación</i>	
3.1 Objetivos.....	26
3.2 Antecedentes.....	26
3.3 Radionucleidos de Interés.....	29
3.4 Caracterización de la Matriz Apropriada.....	29
3.5 Procedimiento para toma de muestra.....	30

3.5.1 Vegetales de Consumo	
3.5.2 Pasto	
3.6 Determinación de radionucleidos artificiales.....	31
3.6.1 Determinación de Cs-137	
3.6.2 Determinación de Sr-90	
Conclusiones y Discusión.....	34
Perspectivas Futuras.....	35
Anexos.....	36
ANEXO I - Mapa del Centro Atómico Ezeiza.	
ANEXO II - Barrio en el que vive la Persona Representativa.	
ANEXO III - Direcciones predominantes de los Vientos.	
ANEXO IV - Propiedades radioquímicas de los radionucleidos.	
ANEXO V - Planillas de muestreo.	
ANEXO VI - Puntos de Muestreo propuestos para Matriz Vegetales de hoja, raíz y pasto.	
Agradecimientos.....	46
Referencias Bibliográficas.....	47

Resumen

El trabajo se realizó en el marco del *Plan de Monitoreo Radiológico Ambiental del Centro Atómico Ezeiza* - CNEA. En el Plan de Monitoreo se analizan diversas matrices ambientales con el fin de evaluar el impacto radiológico ambiental del Centro Atómico Ezeiza sobre sus alrededores.

El objetivo del presente trabajo es la evaluación y la caracterización de los distintos tipos de la **matriz vegetación**, con la finalidad de analizar el impacto sobre el público y el ambiente, de las descargas atmosféricas de radionucleidos artificiales emitidas por las Instalaciones emplazadas en el Centro Atómico Ezeiza.

Una vez determinados los tipos de matriz ambiental bajo estudio, se desarrollarán los protocolos adecuados para su toma de muestras y posterior análisis.

La incorporación de la matriz vegetación al Plan de Monitoreo Ambiental, junto con las otras matrices ambientales estudiadas, contribuye a garantizarle a la población mediante evidencia objetiva, que los niveles de protección para las diferentes vías de exposición son los adecuados y que han sido correctamente verificados, cumpliendo exitosamente con las normas referidas a la seguridad radiológica y nuclear exigidas por el Organismo Regulador Competente, siendo en nuestro caso, la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN).

Capítulo 1

Vigilancia Radiológica Ambiental

Las emisiones al medio ambiente de prácticas autorizadas en condiciones normales de funcionamiento, se realizan de manera planificada y controlada [1]. Para esto, el control de las descargas resulta un requisito regulador esencial con el fin de garantizar una adecuada protección radiológica del público.

Las instalaciones nucleares que manipulan materiales radiactivos están diseñadas, y se operan, de modo tal que los radionucleidos que lleguen al hombre a través de la atmósfera lo hagan en concentraciones *tan bajas como resulte razonablemente alcanzable*, asegurando que los valores de las dosis que recibe la persona representativa de población en ningún caso superen los límites y restricciones establecidos para el público.

1.1 Vías de Exposición Humana

La mayor parte de la radiación recibida por la población del mundo proviene principalmente de *fuentes naturales*, siendo inevitable la exposición a la mayoría de ellas [2]. Durante las últimas décadas, el hombre ha producido artificialmente radionucleidos y ha aprendido a utilizar la energía nuclear con diferentes propósitos. Estos radionucleidos *artificiales* son liberados al ambiente en forma controlada y planificada conforme a las normas de seguridad y protección radiológica.

Una finalidad importante del monitoreo es proporcionar datos que permitan analizar y evaluar la exposición a las radiaciones. A tal efecto, se aplican programas de monitoreo de radionucleidos en el medio ambiente centrados en las vías de exposición humana. Las vías de exposición son las rutas que, a través de los distintos tipos de matrices ambientales, van desde una fuente de radionucleidos y/o radiación hasta un individuo o una población.

Existen dos categorías principales de riesgo de exposición: la *exposición externa* (la fuente de la exposición se mantiene fuera del

cuerpo) y la *exposición interna* (la fuente de exposición se introduce en el cuerpo).

La *irradiación externa* puede ser provocada por fuentes de origen natural: radiación cósmica y radiación terrestre, o bien por nucleídos de origen artificial.

Por otra parte, la contaminación interna es debida a material radiactivo que ha penetrado en el organismo a través de dos procesos principales: inhalación a través de la vía atmosférica y el tracto respiratorio, o bien por ingestión. En ambos casos, el material radiactivo incorporado en el organismo puede tener origen natural o artificial.

En la figura 1. se ilustran las vías por las que un individuo puede estar expuesto a raíz de la descarga de radionucleidos en la atmósfera y en las aguas superficiales y subterráneas, respectivamente [3].

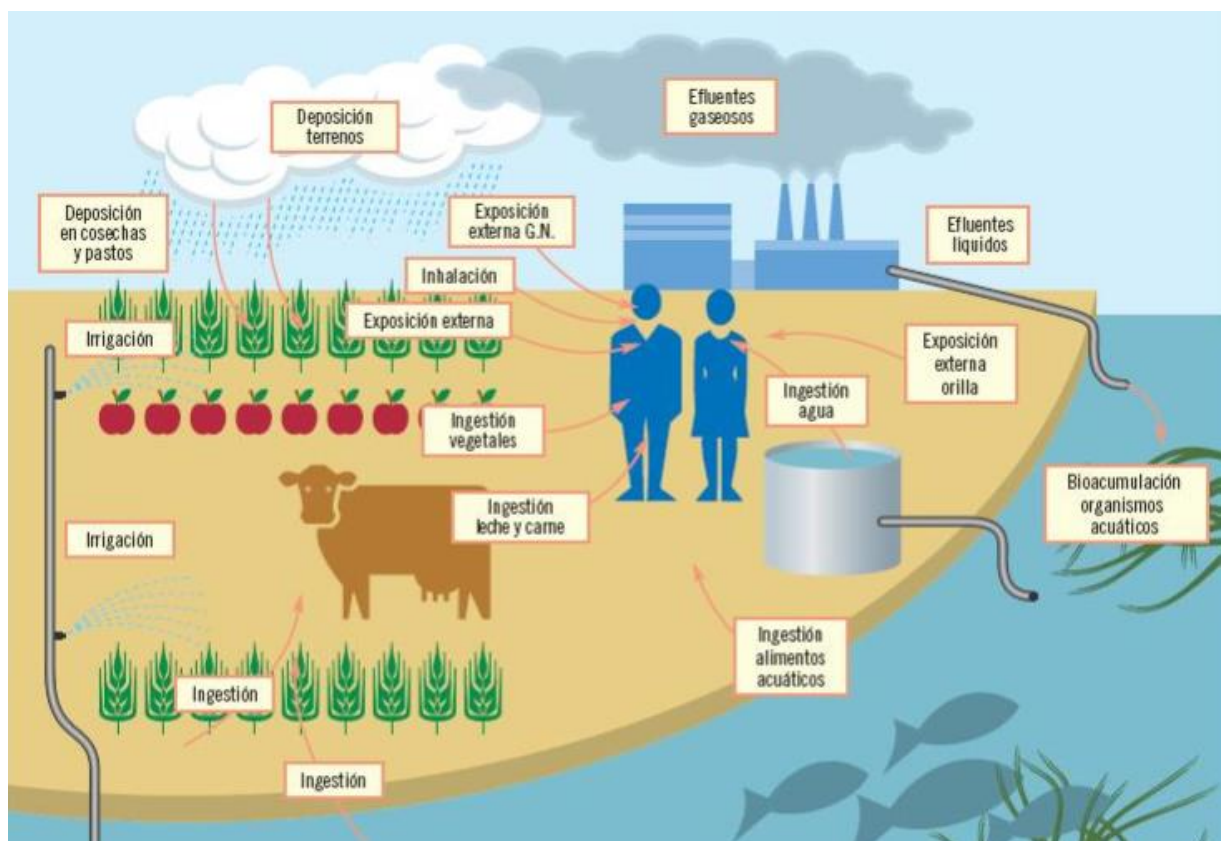


Figura 1. Vías de exposición de efluentes líquidos y gaseosos.

Cabe aclarar que la exposición no solo está determinada por la radiactividad de la nube atmosférica, sino que además por la de los radionucleidos depositados en el suelo o en sedimentos, en

superficies o en la vegetación. Es posible que la ingestión de alimentos de origen agrícola o natural que contengan radionucleidos contribuya considerablemente a las dosis.

En la Tabla 1. se detallan las vías de exposición críticas para el Hombre.

	Irradiación Externa	Contaminación Interna
Descarga Atmosférica	"inmersión" en la nube radiactiva	"inhalación" de los materiales
	"depósito" del material en el terreno	"ingestión" de alimentos contaminados (Ej. vegetales, leche)
Descarga Líquida	"inmersión" en el cuerpo de agua	"ingestión" de agua
	"irradiación" debido al material incorporado en los sedimentos	"ingestión" de alimentos contaminado (Ej. pescado)

Tabla 1. Vías Críticas de Exposición del Hombre.

1.1.1 Descargas atmosféricas

El material radiactivo descargado a la atmósfera es dispersado y transportado por el viento. Las partículas más grandes caen en la cercanía al punto de emisión, mientras que las más pequeñas a distancias mayores. Estas partículas se depositan en el suelo, en la vegetación y en los cuerpos de agua. De esta manera, el material descargado puede ser transferido al hombre a través de la ingesta de alimentos y del agua.

1.1.2 Descargas líquidas

El material radiactivo descargado se diluye en el cuerpo de agua. Existe transferencia a la flora y fauna propias de ese cuerpo de agua como así también a los sedimentos. De estos compartimentos se transfieren al hombre.

La importancia de las distintas vías de exposición [4] depende de:

- Las propiedades radiológicas de los materiales emitidos (emisores gamma, emisores alfa, emisores beta; la radiotoxicidad del radionucleido);
- Las propiedades físicas (gas, líquido, sólido) y químicas (forma orgánica o inorgánica, estado de oxidación) de los materiales y sus pautas de migración;

- El mecanismo de dispersión y los factores que lo afectan (altura de la descarga, condiciones meteorológicas) y las características ambientales (clima, tipo de biota, producción agrícola-ganadera);
- La localización, la edad, la dieta y los hábitos de la población o los individuos expuestos.

En condiciones de descarga normal las características de exposición suelen estar bien definidas.

Es posible que ante una situación accidental, las vías de exposición cambien y se necesite otro tipo de datos para poder adoptar decisiones acerca de la aplicación de medidas protectoras.

1.2 Grupo más Expuesto

Una de las principales finalidades del monitoreo en el contexto de las descargas normales consiste en proporcionar información y datos para evaluar la exposición de los miembros de la población a raíz de las descargas de efluentes al medio ambiente durante el funcionamiento normal de las instalaciones.

Un concepto importante a estos efectos es el de 'Persona Representativa' que se define como una persona de la población razonablemente homogénea con respecto a su exposición, para una fuente de radiación dada, característica de los individuos que reciben la dosis efectiva o la dosis equivalente más alta (según el caso) de dicha fuente, en razón de su ubicación, edad o dieta o de sus hábitos [4]. La dosis media de la persona representativa suele estar sujeta a límites de dosis establecidos por el órgano regulador.

Los grupos expuestos deberían definirse por referencia a individuos reales y/o a supuestos que correspondan a las modalidades reales de deposición y contaminación del medio ambiente y de los alimentos y forrajes producidos y utilizados por la población en las zonas afectadas.

1.3 Protección radiológica

La identificación de muchos usos beneficiosos de las radiaciones ionizantes y el desarrollo de nuevos procesos tecnológicos que las generan, fue paralelo al mayor conocimiento del daño producido, poniendo de manifiesto la necesidad de establecer medidas protectoras para asegurar un nivel adecuado de protección al ser humano y al medio ambiente.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), es el Organismo Internacional que establece la filosofía de la Protección Radiológica, proporcionando recomendaciones para la utilización segura de las radiaciones en las distintas aplicaciones. La ICRP, en su Publicación 60 afirma que "el objetivo de la Protección Radiológica consiste en proporcionar un adecuado nivel de protección a las personas sin limitar indebidamente las prácticas beneficiosas que dan lugar a la exposición a radiaciones ionizantes".

En particular, la ICRP, con el fin de proporcionar un marco sólido para la **protección del medio ambiente** en todas las situaciones de exposición, establece un sistema de protección radiológica [5] basado en tres principios básicos:

- *Justificación de la Práctica.*

Ninguna práctica con radiaciones ionizantes debe ser autorizada si no existen evidencias de que la misma producirá, para los individuos o la sociedad, beneficios que compensen el posible detrimento que puedan generar.

- *Optimización de la Protección Radiológica.*

Se denomina optimización al proceso en el que se analiza y decide la magnitud de los recursos que, teniendo en cuenta *factores económicos y sociales*, se considera razonable destinar a Protección Radiológica para reducir el detrimento colectivo asociado a una determinada práctica, mediante la reducción de la dosis de radiación, el número de personas expuestas y la probabilidad de exposiciones potenciales.

Todo proceso de optimización está restringido por límites de dosis o por restricciones de dosis aún más severas impuestas por las autoridades regulatorias de los países para cada tipo de práctica en particular.

- *Límites y Restricciones de dosis.*

La exposición de los individuos debe estar sujeta a límites de dosis [6]. Los valores de los límites de dosis se adoptan con el criterio de impedir la ocurrencia de *efectos determinísticos* y limitar la probabilidad de los *estocásticos*. El primer aspecto se logra teniendo en cuenta los valores de umbrales de dosis para efectos determinísticos y el segundo implica aceptar un cierto orden de magnitud del detrimento asociado con los efectos cancerígenos y hereditarios. El límite de dosis demarca la frontera entre el detrimento tolerable y el inaceptable.

En cuanto a las restricciones de dosis, estos son valores inferiores a los límites de dosis, y definen la cota superior para la optimización.

La exposición que reciben los miembros de la población se conoce como **exposición pública**. Tal es el caso de la población que se encuentra en los alrededores de las Centrales Nucleares, por lo que resulta necesario efectuar un Monitoreo Ambiental para verificar el cumplimiento de las Normas Básicas de Seguridad respecto a la exposición de la población durante el funcionamiento normal de las mismas [7].

1.4 Monitoreo Ambiental

1.4.1 Objetivo principal

El objetivo principal del plan de monitoreo radiológico ambiental es verificar que las instalaciones no producen impacto radiológico en el medio ambiente y en la población.

1.4.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de un monitoreo radiológico ambiental son:

- Verificar el cumplimiento de los límites de descarga de efluentes autorizados del funcionamiento normal de las prácticas y de cualquier otro requisito reglamentario relacionado con el impacto en la población y en el medio ambiente;
- Mantener un registro permanente de los valores obtenidos en los muestreos, para su posterior análisis;
- Advertir la alarma ante la aparición de condiciones inusuales o imprevistas y, si procede, activar un programa especial de monitoreo del medio ambiente;
- Garantizarle a la población mediante evidencia objetiva, que los niveles de protección para las diferentes vías de exposición son los adecuados y que han sido correctamente verificados.

Con acuerdo al objetivo principal y los específicos, los programas de monitoreo deberían abarcar la realización de mediciones radiológicas y conformar una base de datos para poder realizar el análisis de evolución en el tiempo de las variables medidas.

La mayor parte de los radionucleidos que se generan en las instalaciones nucleares es retenida, sólo lo restante es liberado al ambiente, junto con los efluentes gaseosos y líquidos.

En concordancia con el principio básico de la protección radiológica de mantener la exposición de la población tan baja como sea alcanzable [8], se permite la descarga limitada de efluentes radiactivos.

Estos límites de descarga son fijados sobre la base de los modelos de transferencia en el ambiente. Es por eso, que se considera al monitoreo de efluentes como la principal medida de control [9]. Dicho monitoreo, cumple con la doble función de verificar los resultados del monitoreo de efluentes, como así también, permitir la estimación de los parámetros de transferencia aplicables en el cálculo de la exposición del público y la correspondiente dosis.

Con respecto al criterio empleado para la selección de puntos de muestreo, tipos y frecuencia de los mismos, se tienen en cuenta los estudios previos realizados en las zonas, como así también las recomendaciones del ICRP y de las Normas Básicas de Seguridad Radiológica y Nuclear.

El tipo de programa de monitoreo, así como también la escala y la extensión del mismo deben estar en concordancia con:

- Inventario radiactivo y composición de Radionucleidos.
- Descargas autorizadas y tasas de descarga.
- Contribución de otras fuentes cercanas.
- Vías de exposición.
- Características del sitio.
- Hábitos de la población.

Además, un programa adecuado de monitoreo ambiental es sumamente útil en caso de liberación accidental de productos radiactivos detectados previamente en las descargas.

Capítulo 2

Plan de Monitoreo Radiológico Ambiental del Centro Atómico Ezeiza - CAE

El Programa de Vigilancia Radiológico Ambiental apunta a verificar el adecuado cumplimiento de los requisitos regulatorios para las descargas de las sustancias radiactivas en el ambiente.

2.1 Objetivo y Alcance

El Plan de Monitoreo Radiológico Ambiental del CAE tiene como objetivo verificar el cumplimiento de las normas de seguridad radiológicas, en lo que respecta a los posibles impactos sobre el público y el ambiente, derivados del funcionamiento de las Instalaciones emplazadas en el Centro Atómico Ezeiza. Además, debe adquirir la información obtenida de las matrices ambientales con el fin de evaluar tanto el impacto radiológico en el ambiente como la estimación de dosis al público.

De esta manera, se le garantiza a la población mediante evidencia objetiva, que los niveles de protección para las diferentes vías de exposición son los adecuados y que han sido verificados.

El presente Plan de Monitoreo es aplicable al ambiente relacionado con el Centro Atómico Ezeiza y sus alrededores.

2.2 Centro Atómico Ezeiza - CAE

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) es una Institución Nacional, orientada a la realización de investigaciones y desarrollos en todos los aspectos vinculados a la utilización pacífica de la energía nuclear en el país, y con la misión de asesorar al Estado en materia de política nuclear.

Las actividades de la CNEA se enmarcan en su política de cuidado ambiental, en el cumplimiento de las normas nacionales y locales en la materia, y en la búsqueda de que todos los miembros de la

Institución trabajen para lograr la mejora continua del desempeño ambiental del sitio [10].

El **Centro Atómico Ezeiza** es una dependencia de la Comisión Nacional de Energía Atómica, en el mismo se encuentran emplazadas instalaciones, laboratorios e institutos de formación que procesan y/o manipulan materiales radiactivos con múltiples propósitos, tales como producción de radioisótopos, aplicaciones industriales de la radiación, producción de combustible para las centrales de potencia, gestión segura de residuos radioactivos, investigación, entre otras. (Figura 2).

El Centro Atómico Ezeiza está situado en el partido de Ezeiza, Provincia de Buenos Aires, a 33 km de la ciudad de Buenos Aires, ocupando una superficie de 840 hectáreas, divididas en mitades aproximadamente similares por el camino de acceso al mismo.



Figura 2. Centro Atómico Ezeiza.

La ejecución del procedimiento del *Plan de Monitoreo Radiológico Ambiental del Centro Atómico Ezeiza*, es responsabilidad de la Subgerencia de Protección y Seguridad Radiológica, Física y Convencional, teniendo la responsabilidad de su aplicación la Gerencia del Área de Aplicaciones de la Tecnología Nuclear.

En el Plan de Monitoreo se analizan diversas matrices ambientales con el fin de evaluar el impacto radiológico ambiental del CAE sobre sus alrededores.

Entre las Instalaciones más significativas emplazadas en el Centro Atómico Ezeiza se encuentran:

- Reactor de Investigación y Producción - RA-3.
- Planta de Producción de fuentes selladas de Co-60 - PPFSCo-60.
- Planta de Producción de Radioisótopos - PPR.
- Planta de Producción de Radioisótopos por Fisión.
- Ciclotrón de Producción.
- Laboratorio de Triple Altura - LTA.
- Laboratorio de Uranio Enriquecido - LUE.
- Área de Gestión de Residuos Radiactivos - AGE.
- Laboratorio de Celdas Calientes - CELCA.
- Fábrica de Aleaciones Especiales - FAE.
- Combustibles Nucleares Argentinos - CONUAR.

2.2.1 Aspectos Geográficos

Los cursos de agua más cercanos al CAE son, el río Matanza que limita al NO con el Centro Atómico y corre de SO a NE (a 3,5 km del reactor RA-3); el arroyo Aguirre que lo cruza de S a N en diagonal y el arroyo El Palo cuya entrada al predio es por el sector SE para luego desembocar en el arroyo Aguirre. Gran parte del drenaje de los terrenos de la zona se efectúa hacia el Norte, reuniéndose las aguas en el arroyo Aguirre y por último desembocando en el río Matanza. (Ver ANEXO I).

El relieve del área en estudio corresponde a la región sublitoral de la provincia de Buenos Aires. Se trata de una llanura ondulada, con lomas bajas, muy poco destacadas. El accidente topográfico con más significancia en la región, está representado por el cauce playo del arroyo Aguirre y hacia este cauce se dirigen los bajos mayores.

Estos paisajes de altos y bajos, se enfrentan a ambos lados del arroyo, hasta la desembocadura en el río Matanza. Este curso de agua permanente constituye el mayor colector de la zona y de toda una vasta cuenca que se prolonga hasta más allá de la ciudad de Cañuelas.

En el entorno del Centro Atómico Ezeiza el terreno es llano y no presenta accidentes topográficos destacables. Las inundaciones provocadas por crecientes del río Matanza, tanto por aporte pluvial como por embalse natural debido a crecientes del río de la Plata, son conocidas.

2.2.2 Aspectos Meteorológicos

La región en la que se halla emplazado el Centro Atómico Ezeiza responde a un clima templado y húmedo con inviernos suaves y veranos cálidos.

En cuanto al viento, la mayor frecuencia relativa se da en la dirección SO, para la última década, según SMN (Ver Tabla 2).

Dirección	% Frecuencia Relativa
OSO	7,75
SO	13,24
O	7,86
ONO	6,95
SSO	5,89

Tabla 2. Direcciones predominantes del viento.

2.3. Puntos de Muestreo

Todos los puntos seleccionados para realizar el muestreo se encuentran en la periferia del Centro Atómico Ezeiza y a sus alrededores. Según su ubicación, se clasifican de la siguiente manera:

Punto Blanco: Para cada matriz a muestrear, se entiende por blanco, el lugar físico debidamente georreferenciado que por su ubicación se encuentra influenciado de manera despreciable por el impacto que producen las instalaciones emplazadas en el CAE.

Punto Control: es un punto de muestreo que no es blanco ni se encuentra relacionado con el grupo más expuesto, que tiene como objetivo analizar las variables estadísticas del muestreo y medición,

obtener información de posibles impactos en la matriz de interés como consecuencia de las actividades que desarrolla el CAE y/o proveer información como línea de base ambiental en caso que se requiera a futuro.

Punto Persona Representativa: para cada matriz a muestrear, se entiende por punto persona representativa, al lugar físico debidamente georreferenciado, que se encuentra relacionado con la persona representativa. La Persona Representativa se define como la persona que recibe una dosis que es representativa dentro del grupo de individuos más expuestos de acuerdo al ICRP 101 [11].

En todas las matrices ambientales analizadas, se toma al menos, un punto de muestreo de cada tipo.

Con el fin de monitorear la exposición a la persona representativa, se tuvieron en cuenta principalmente el emplazamiento del CAE, sus características geográficas y ambientales, la ubicación geográfica de las instalaciones radiactivas, sus límites de descarga al ambiente y los datos atmosféricos provistos por el Servicio Meteorológico Nacional.

En el presente Plan de Monitoreo se ha determinado como Persona Representativa a una persona que vive en el Barrio La Celia. (Ver ANEXO II).

La dirección y frecuencia predominante del viento, los modelos de dispersión utilizados y su proximidad al CAE han sido factores determinantes para la selección de los puntos.

Dentro de las consideraciones que se analizaron y que dieron lugar a determinar el Sector con mayor exposición están:

- La ubicación geográfica de los puntos de descargas de efluentes más significativos.
- Las direcciones predominantes del viento hacia la persona representativa, ponderadas por las distancias a la ubicación de descarga. (Ver ANEXO III).

2.4 Vías de descarga de radionucleidos artificiales

Las sustancias radiactivas llegan al medio ambiente a través de los efluentes líquidos y gaseosos provenientes de las instalaciones que operan en el Centro Atómico y mediante el transporte y la dispersión de radionucleidos en el ambiente.

Los límites autorizados de descarga por las instalaciones se encuentran establecidos y pueden ser consultados en las respectivas Licencias de Operación emitidas por la ARN y Documentación Mandatoria de las mismas.

2.4.1 Descarga Atmosférica

El conocimiento de la dispersión atmosférica es fundamental para evaluar las condiciones del emplazamiento de las instalaciones, como así también, para calcular las dosis individuales y colectivas que causarán los efluentes radiactivos por la operación de las mismas [4].

Para las descargas derivadas de las emisiones gaseosas, formada por partículas y gases, se tiene en cuenta el esquema de la figura 3., detallando las rutas de exposición de la persona representativa.

Las vías de exposición correspondientes a los vegetales, animales de origen ovino o vacuno y la ingesta de leche proveniente de los mismos por el momento no han sido analizadas, siendo la matriz vegetal el objeto de estudio del presente trabajo.

2.4.2 Descarga Líquida

El arroyo Aguirre colecta los efluentes que se descargan ocasionalmente en el CAE y también posee como fuente natural el acuífero Freático, los desagües pluviales del CAE y el arroyo El Palo. Se analizan las matrices agua superficial en el arroyo Aguirre, río Matanza y sedimentos en ambos para verificar la tendencia en el tiempo de los radionucleidos presentes y poseer información que puede ser valiosa para ser utilizada en el futuro.

El agua subterránea, compuesta por los acuíferos Freático, Pampeano y Puelche, son la principal fuente de agua para consumo y uso recreativo en las zonas aledañas al CAE.

Para las descargas derivadas de las emisiones líquidas se tiene en cuenta el esquema de la figura 4., detallando las rutas de exposición de la persona representativa.

No se han encontrado evidencias objetivas hasta el momento, en las zonas mencionadas, de que la persona representativa se encuentren impactadas debido a las actividades desarrolladas por la CNEA en los últimos cincuenta años.

Respecto a la influencia que posee el agua subterránea, en la dosis de la persona representativa, no se han encontrado evidencias que demuestren una vía de exposición significativa. No obstante, a los fines de cumplir con los objetivos del presente plan, se decidió analizar las matrices de agua subterránea para demostrarlo.

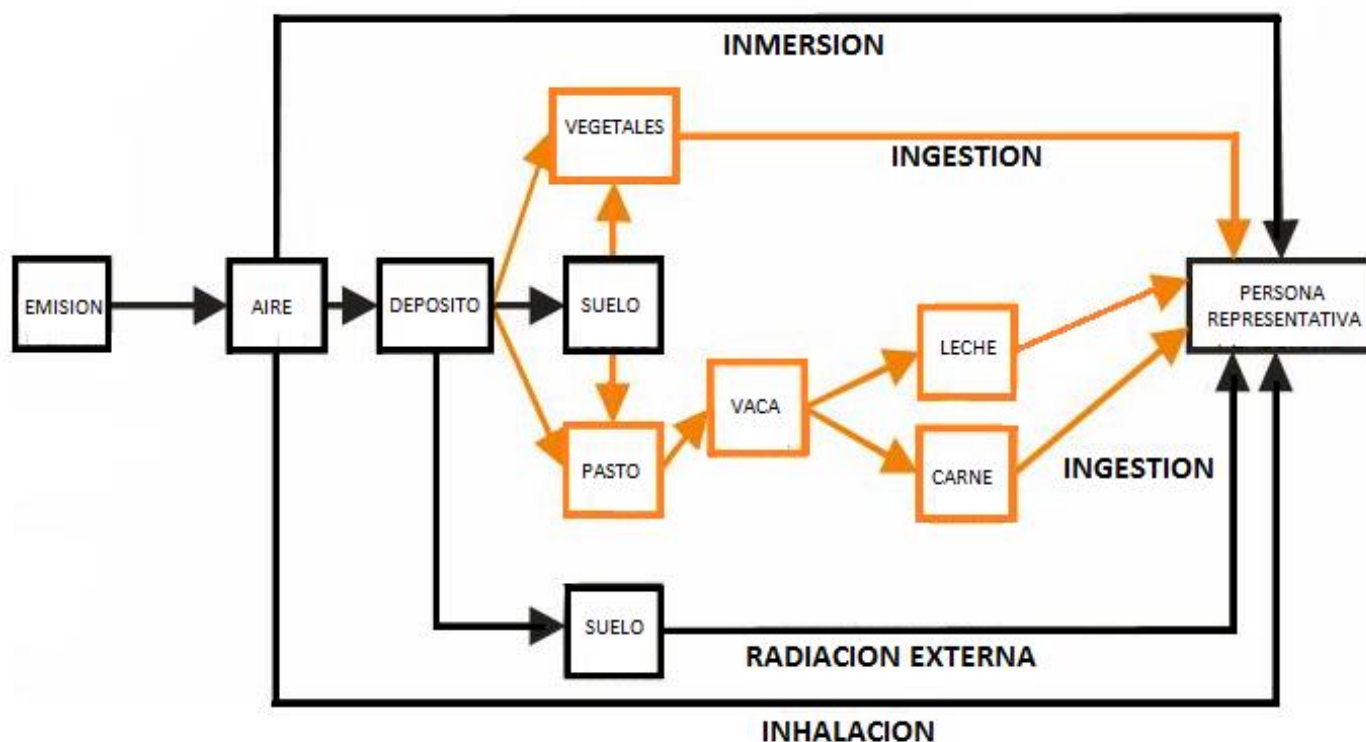


Figura 3. Esquema de transferencia al ambiente – Descarga Gaseosa.

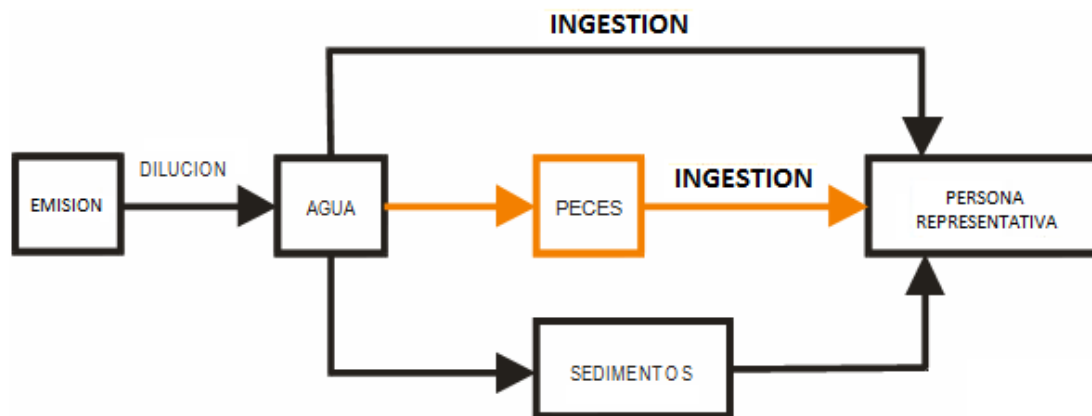


Figura 4. Esquema de transferencia al ambiente – Descarga Líquida.

2.5 Matrices Ambientales

Las muestras se analizan en los laboratorios de Metrología y Dosimetría Personal y de Área perteneciente a la Comisión Nacional de Energía Atómica ubicados en el Centro Atómico Ezeiza.

El objetivo es determinar la concentración de los radionucleidos presentes y su relación con las actividades desarrolladas en el CAE. Los valores obtenidos conformarán una base de datos para llevar cabo, en el futuro, análisis de evolución en el tiempo de las variables medidas. En caso que se verifique que sea una vía de exposición a la persona representativa, se analizará la dosis recibida en el mismo.

Los radionucleidos analizados, debido a su importancia radiológica, son, principalmente: **productos de fisión** (Cesio-137, Estroncio-90, Yodo-131) y **productos de activación** (Tritio y Cobalto-60).

En el ANEXO IV se describen las propiedades radioquímicas de los radionucleidos de interés.

En cuanto a la frecuencia de los muestreos, estos se realizarán en forma mensual, trimestral o semestral, según corresponda.

Los métodos de muestreo deben de ser tales que garanticen la obtención de muestras representativas de la matriz considerada.

Se lleva a cabo la toma y análisis de muestras en las principales vías de transferencia de radionucleidos en aquellos elementos de los

ecosistemas que pueden contribuir a la exposición de las personas a las radiaciones.

2.5.1 Agua Superficial

Las aguas superficiales esta comprometidas por:

- Arroyo Aguirre: debido a que es colector directo de todo el sistema hidrológico del CAE.
- Arroyo El Palo: el cual atraviesa el predio del CAE desembocando en el Arroyo Aguirre.
- Rio Matanza: el cual oficia de uno de los límites del CAE al NO y corre, aproximadamente, de SO a NE (a 3,5 km del RA-3).

El procedimiento para obtención de muestras de agua a analizar es el siguiente. Se debe tomar el envase colector de la muestra (figura 5) y enjuagarlo un mínimo de dos veces con el agua a analizar. A continuación se sumerge el envase colector hasta su máxima capacidad. Se cierra y se seca el envase conteniendo la muestra con una toalla de papel.

Finalmente se embolsa y rotula apropiadamente.



Figura 5. Toma de muestra de Agua Superficial del Arroyo Aguirre.

En los casos en que la muestra no pueda ser analizada inmediatamente luego de la recolección, se almacena en heladera para evitar la degradación, descomposición y/o la contaminación de las mismas hasta que se envía a los correspondientes laboratorios para su medición. Este almacenamiento no puede exceder los 7 días. Luego, en los laboratorios se las acondiciona de acuerdo a la medición que se le va a realizar.

2.5.2 Sedimentos

Las muestras de sedimentos son colectadas en los mismos sitios donde se toman las muestras de agua superficial.

Las muestras son tomadas de la orilla, preferentemente se eligen suelos arcillosos. (Figura 6).

El pre tratamiento de las muestras consiste en la remoción de piedras y otros elementos. Se pesan las muestras para obtener su peso "fresco", se envasan y rotulan para su envío al correspondiente laboratorio.



Figura 6. Toma de muestra de Sedimentos del Arroyo Aguirre.

La masa requerida es aproximadamente 1 Kg para el análisis por espectrometría gamma en el laboratorio de Metrología, y 50 gr para el laboratorio de Dosimetría Personal y de Área.

2.5.3 Agua Subterránea

Esta matriz está dividida en tres compartimentos principales: Acuífero Freático, Pampeano y Puelche. La concentración de los radionucleidos naturales en esta matriz podría ser muy variable, por lo tanto se tomarán varias muestras para el análisis.

Actualmente se toman muestras en la vivienda perteneciente a la persona representativa y dentro del CAE correspondiente a las Torres Tanque. Las mismas, son extraídas de pozos realizados en el acuífero Puelche, por lo que se trata de agua de consumo. Debido a esto, la muestra es extraída en forma directa de la canilla.

En este momento, se está desarrollando la toma de muestras en los acuíferos mediante bombas de agua sumergibles en los pozos que no tienen las facilidades como los que se toma la muestra directamente de las canillas.

2.5.4 Concentración de radionucleidos en el suelo

Se realiza el muestreo para determinar la concentración de distintos radionucleidos presentes en el suelo como consecuencia del depósito del material radiactivo emitido por los efluentes gaseosos de las instalaciones emplazadas en el CAE.

Para tomar la muestra se delimita una superficie de 50 cm x 50 cm extrayendo una porción de 5 cm de profundidad, la cual se coloca en un recipiente rotulado para ser analizada. (Figura 7).



Figura 7. Toma de muestra de Suelo.

El pre-tratamiento de las muestras consiste en la remoción de piedras, raíces, pasto y otros elementos. Se pesan las muestras para obtener su peso "fresco". A continuación se envasan y rotulan para su envío al correspondiente laboratorio.

La masa requerida depende del laboratorio y metodología de medición que fuese empleada.

2.5.5 Concentración de radionucleidos en el aire

Para evaluar la concentración de partículas en aire se toma una muestra con una bomba de muestreo, figura 8., la cual posee un filtro de papel para retener partículas.



Figura 8. Sistema muestreo de aire.

El filtro de papel extraído se embolsa, y se envían a los laboratorios para efectuar la medición de los mismos.

2.5.6 Tasa de dosis equivalente ambiental

Los dosímetros de termoluminiscencia TLD son utilizados para evaluar la dosis equivalente ambiental. (Figura 9).

El dosímetro es recambiado de modo tal que el control de la dosis equivalente ambiental en el punto de interés sea continuo.



Figura 9. Dosímetro de termoluminiscencia TLD.

2.6 Registros

En todas las matrices analizadas, se registra la toma de la muestra y su posterior envío a los laboratorios en las planillas correspondientes (Ver ANEXO V).

Los resultados del presente plan se informan de forma semestral a la Autoridad Regulatoria Nuclear.

Capítulo 3

Matriz Ambiental de Vegetación

La evaluación de cualquier tipo de liberación de material radiactivo al medio ambiente es importante para verificar la protección de la salud pública, sobre todo si el material radiactivo puede entrar en la cadena alimentaria [12].

Las muestras de vegetales se consideran de gran interés en la vigilancia radiológica ambiental [13], ya que son una de las vías para estimar las dosis que potencialmente recibirían los individuos debido a la exposición interna de los radionucleidos incorporados a través de la ingestión de los mismos.

3.1 Objetivos

Los objetivos propuestos para el análisis de la matriz vegetación son:

- La evaluación y caracterización de los distintos tipos de la matriz vegetación que pueden ser utilizados para analizar el impacto de las **descargas gaseosas** de los radionucleidos emitidos por las Instalaciones emplazadas en el Centro Atómico Ezeiza.
- El procedimiento adecuado para su toma de muestras y posterior análisis.

3.2 Antecedentes

La ARN realizó durante el año 1998 [2] el monitoreo radiológico ambiental en los alrededores de las instalaciones nucleares existentes en el país, encontrándose entre ellas el Centro Atómico Ezeiza.

En esta ocasión, se tomaron muestras representativas de los diferentes compartimentos de la matriz ambiental, en puntos

ubicados en las cercanías de las instalaciones en el CAE y sus alrededores. (Figura 10).

Para determinar el depósito de material radiactivo, se tomaron muestras de **pasto**, recolectadas y analizadas con una frecuencia mensual e informada como promedio trimestral. Las muestras de pasto fueron obtenidas de diferentes puntos, dentro de un radio de los 3 km.

Además, se recolectaron y analizaron muestras de **alimentos vegetales**, de una quinta ubicada a 3 km del CAE, en dirección sudoeste, con una frecuencia trimestral.

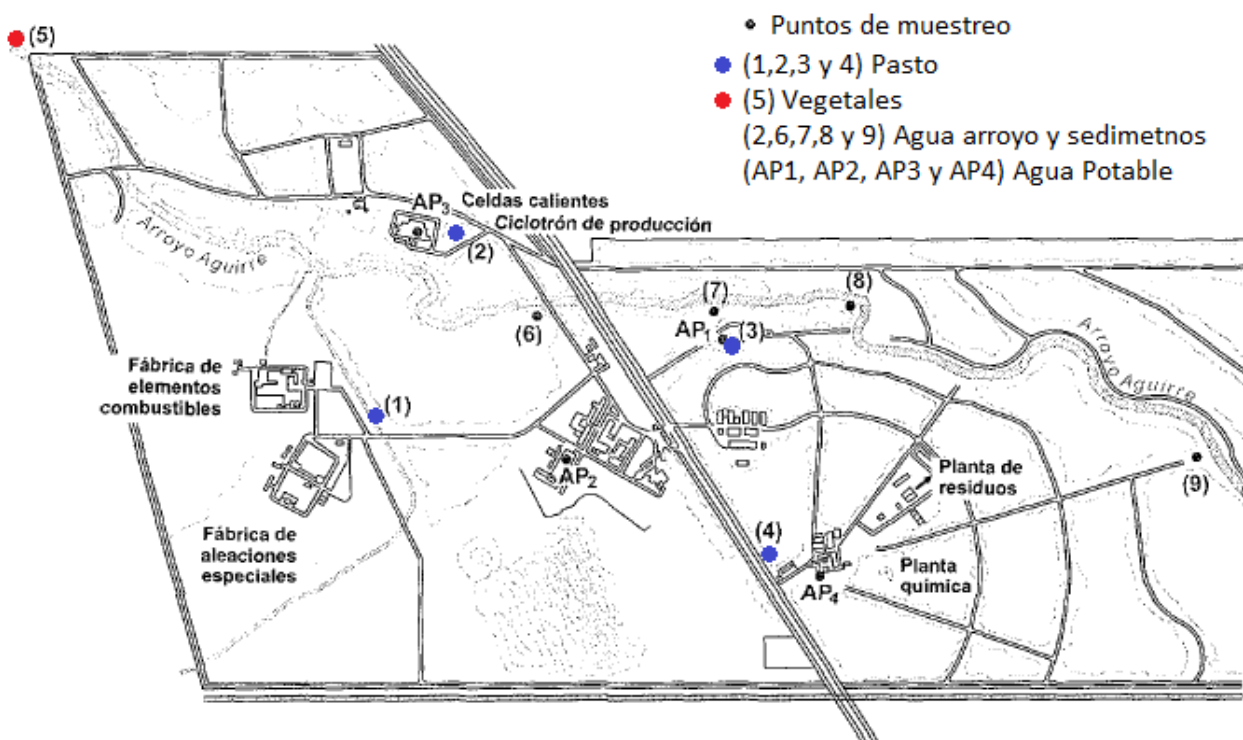


Figura 10. Puntos de Muestreo.

La determinación de la concentración de **Cesio-137** en muestras correspondientes a verduras de hoja y de raíz, se realizó por espectrometría gamma, en condiciones geométricas normalizadas, sobre comprimidos de cenizas de las muestras calcinadas.

La concentración de **Estroncio-90** fue determinada por una técnica que incluye la calcinación de la muestra, separación del Itrio-90 en equilibrio, y medición por centelleo líquido de la radiación Cherenkov emitida.

La determinación de la concentración de **Yodo-131** se llevó a cabo por precipitación del radionucleido, tanto el que se encuentra unido a proteínas como el que está presente en forma iónica, y posterior medición en un detector de Germanio Hiperpuro (HPGe).

En las tablas 3 y 4 se informan la evaluación realizada por medición de la actividad en muestras de pasto y de alimentos respectivamente.

Período	Cesio-137	Cobalto-60	Yodo-131
1° trimestre	< 8,1	< 9,1	< 5,5
2° trimestre	< 9,5	< 4,5	< 6,2
3° trimestre	< 9,6	< 6,3	< 7,2
4° trimestre	< 10,0	< 5,0	< 10,00

Tabla 3. Deposito de actividad en muestras de Pasto (Bq/m²)

Período ESPECIE	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
	Cesio-137	Estroncio-90	Cesio-137	Estroncio-90	Cesio-137	Estroncio-90	Cesio-137	Estroncio-90
acelga	< 0,02	< 0,07	< 0,03	< 0,1	< 0,02	< 0,1	< 0,01	< 0,1
lechuga	< 0,02	< 0,1	< 0,02	< 0,08	< 0,02	< 0,08	< 0,02	< 0,09
repollo	< 0,02	< 0,08	< 0,02	< 0,06	-	-	< 0,02	0,15
berenjena	< 0,02	< 0,08	-	-	-	-	-	-
radicheta	< 0,02	0,16	< 0,02	< 0,06	< 0,02	< 0,08	0,03	< 0,16
brócoli	-	-	< 0,02	< 0,05	< 0,02	< 0,09	-	-
puerro	-	-	< 0,02	< 0,05	< 0,02	0,1	-	-
hinojo	-	-	-	-	< 0,02	< 0,1	-	-
limón	-	-	-	-	< 0,02	0,05	-	-
remolacha	< 0,02	< 0,08	-	-	-	-	< 0,03	-
coliflor	-	-	< 0,02	0,21	-	-	-	-
tomate	< 0,02	0,1	-	-	-	-	< 0,02	-
escarola	-	-	-	-	< 0,02	< 0,08	-	-
cebolla	< 0,02	< 0,06	-	-	-	-	-	-

Tabla 4. Concentración de actividad en Alimentos de la zona del CAE (Bq/kg).

Nota:... significa muestra no disponible, debido a que las matrices son estacionales.

No se han detectaron radionucleidos en el ambiente que pudieran atribuirse al funcionamiento del Centro Atómico Ezeiza.

Cabe aclarar que, debido a las distintas series de ensayos de armas nucleares en la atmósfera que se efectuaron entre las décadas de 1940 y de 1970, existe un importante inventario de productos de

fisión en el ambiente, en particular, de Estroncio-90. Por lo tanto, es de esperar que en algunas muestras de alimentos se haya detectado la presencia de Estroncio-90 [2].

3.3 Radionucleidos de Interés

Los radionucleidos analizados, debido a su importancia radiológica, son, principalmente: **productos de fisión** (Cesio-137, Estroncio-90, Yodo-131) y **productos de activación** (Tritio y Cobalto 60).

3.4 Caracterización de la Matriz Apropriada

Los radionucleidos descargados a la atmósfera pueden depositarse en terrenos cultivados o bien pueden ser interceptados por el follaje. Es por este motivo que se propone realizar el análisis de dos tipos de matrices de vegetación: Vegetales de consumo y Pasto.

Vegetales de Consumo

Los vegetales de hojas verdes son propensos a concentrar radionucleidos superficialmente durante su estación de crecimiento. Las demás hortalizas, incluidas las hortalizas de raíz, también pueden retener radionucleidos. Por lo mencionado, las verduras de hoja son normalmente buenos indicadores para determinar la influencia de una instalación sobre las plantas.

Los tipos de muestras de vegetales que se consideren en el Plan de Monitoreo Radiológico serán representativos de la dieta de la población de la zona que se encuentra bajo estudio.

A partir de la bibliografía citada en el desarrollo del trabajo, se podrían considerar distintas especies representativas de:

- Verduras de hoja: lechuga, repollo, espinaca, acelga.
- Raíz: cebolla, zanahoria, remolacha.
- Tubérculos: papas, batatas.

Pasto

La *transferencia pasto-ganado* es una vía que se relaciona con la incorporación de radionucleidos al hombre por ingestión de leche y carne.

En el pastoreo se cubren superficies extensas por lo que el ganado podría incorporar cantidades significativas del material depositado.

Analizar esta matriz resulta importante debido a la rápida absorción de radionúclidos de importancia tales como radioisótopos de Yodo y Cesio por los animales, en particular los bovinos, y posterior transferencia efectiva a la leche.

3.5 Procedimiento para toma de muestra

Las muestras se adquirirán dentro de un radio de 3 km con respecto a la instalación del CAE, teniendo en cuenta la dirección predominante del viento. Deben ser recogidas en áreas abiertas, sin perturbaciones en la medida que sea posible.

Dado que el análisis de esta matriz ambiental se encuentra en desarrollo, se proponen tres puntos de muestreo para verificar y perfeccionar las técnicas de muestreo y medición. (Ver ANEXO VI).

A continuación se desarrollan los procedimientos estándar para la toma de las muestras.

3.5.1 Vegetales de Consumo

Para recolectar la muestra [14], se toma la parte más expuesta de la planta. Se debe tener extremo cuidado de modo de asegurar que las partículas del suelo no estén adheridas a la muestra.

La parte comestible se corta en trozos pequeños, se coloca en bolsa de polietileno, se rotula con la fecha y datos específicos de la muestra y se guarda en la heladera a 4°C.

Se deben tomar aproximadamente 1,5 kg de muestra en cada punto de muestreo para poder efectuar los análisis posteriores.

3.5.2 Pasto

La muestra de pasto se recoge a unos pocos centímetros por encima del suelo con el cuidado de evitar la contaminación con tierra.

Se debe registrar con precisión la superficie del área muestreada.

Se deben tomar aproximadamente 1,5 kg de muestra en cada punto de muestreo.

3.6 Determinación de radionucleidos artificiales

El procesamiento de las muestras de vegetales de consumo y de pasto para realizar las determinaciones de radionucleidos artificiales, es el mismo para ambas matrices.

Para efectuar las mediciones correspondientes a *Beta y Alfa totales*, se toman 100 gr de la muestra correspondiente, se coloca en una cápsula de porcelana y se seca lentamente en estufa, a temperatura variable llevando finalmente a 200°C. En una segunda etapa se procede a la realización de la mineralización seca, donde se mufla la muestra y se lleva a cenizas a una temperatura promedio de 400°C, durante aproximadamente 17 hs (hasta que la muestra alcanza peso constante).

A continuación, se procede al proceso de mineralización húmeda con ácidos fuertes. La muestra debe de ser incolora de modo de evitar la interferencia dada por el quenching de color. En plancha, las cenizas se llevan a sequedad y se extraen con 35 ml de HCl 2 M. Se toma 1 ml de la solución y se efectúa el análisis por Centelleo líquido.

Para la determinación específica de Sr-90 se continúa con el tratamiento de la muestra correspondiente para efectuar el contaje Cherenkov.

Para realizar las mediciones por *espectrometría gamma*, se utilizan detectores de HPGe. Se debe tomar 1 kg de la muestra a analizar, se lleva a geometría normalizada y se realiza la medición durante el tiempo suficiente de modo de lograr la eficiencia en la detección deseada.

Alternativamente, se puede efectuar la medición por espectrometría gamma a partir de las cenizas de las muestras calcinadas. Para esto, hay que tener en cuenta que se requieren aproximadamente 65 gr de

cenizas para hacer una pastilla de 70 mm de diámetro y 5-7 mm de altura por prensado. De esta manera, se requiere un tamaño de muestra más grande para lograr las condiciones geométricas normalizadas sobre comprimidos de cenizas de las muestras calcinadas.

Según la muestra analizada:

- Resultado Informado (**Vegetal de Consumo**): Bq / kg (masa húmeda o masa seca).
- Resultado Informado (**Pasto**): Bq / m²

La determinación de los radioisótopos de Cs-137 y Sr-90 es de gran importancia [15] debido a su similitud química con el potasio y el calcio, y por lo tanto la biodisponibilidad, y su nivel de deposición global.

3.6.1 Determinación de Cesio-137

El Cs-137 es un emisor β , y con una energía β máxima de 1,17 MeV y se encuentra en equilibrio secular con el Ba-137m que emite un fotón gamma de 0,661 MeV, con un período de semidesintegración de 30 años aproximadamente. La actividad del Cs-137 se determina midiendo la actividad de la hija por espectrometría gamma con detectores HPGe.

3.6.2 Determinación de Estroncio-90

El Sr-90 es un importante producto de fisión. Una vez incorporado a la biosfera, sigue al calcio en las cadenas alimentarias, y se deposita en hueso humano.

Es un emisor β puro con una energía β máxima de 0,67 MeV y período de semidesintegración de 28 años. Su hija radiactiva es el Y-90, emisor β de energía β máxima 2,27 MeV y período de semidesintegración de 64 horas.

El Sr-90 en muestras ambientales se determina a través de su producto de decaimiento, el Y-90, utilizando conteo Cherenkov [16].

Mediante este método se puede analizar la presencia de dicho radionucleido en diferentes tipos de matrices, sean estas sólidas como vegetales o líquidas como leche y agua.

La técnica analítica desarrollada consta de una primera etapa de pretratamiento de las muestras, figura 11., a los fines de obtener la matriz de trabajo líquida en medio ácido.

Una vez obtenida la matriz de trabajo en forma líquida y en medio ácido, se procede al aislamiento del Y-90 como se puede observar en la Figura 12.

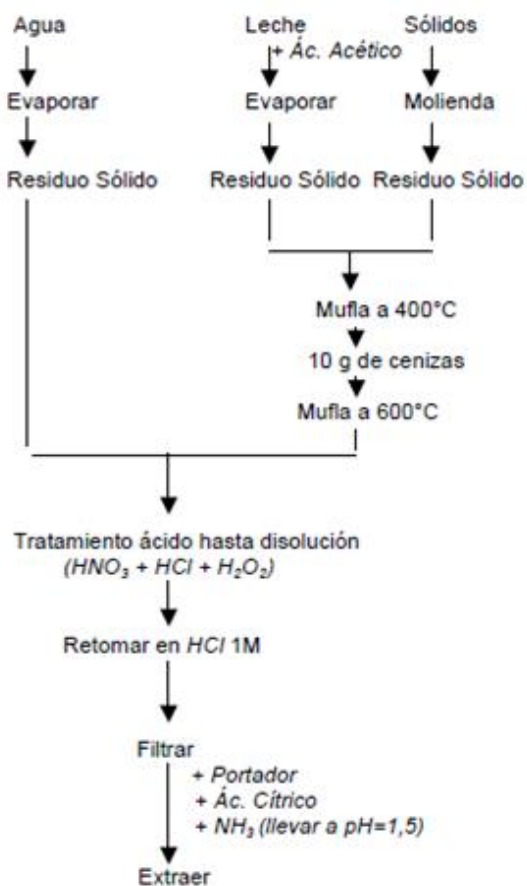


Figura 11. Pre-tratamiento de las muestras.

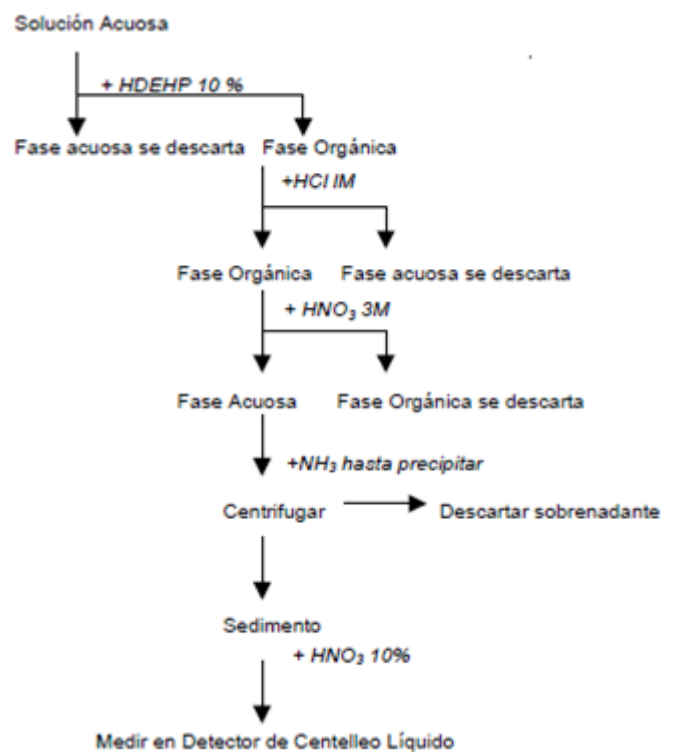


Figura 12. Aislamiento de Y-90.

La tercera y última etapa es la medición de la radiación Cherenkov utilizando un equipo de Centelleo Líquido.

Conclusiones y discusión

Si bien la matriz vegetación no resulta ser una de las matrices ambientales más estudiadas hasta el momento, dada sus características, se trata de una matriz ambiental completamente viable y de fácil implementación.

Considerando los dos tipos de matrices de vegetación propuestas, la matriz correspondiente a vegetales de consumo, a diferencia de la del pasto, presenta ciertas dificultades asociadas a:

- Su disponibilidad en todas las épocas del año, ya que, en muchos casos se trata de matrices estacionales;
- La elección de los puntos de muestreo.

Esta matriz se encuentra en su etapa de desarrollo, por lo cual, es necesario adquirir más información proveniente de los muestreos con la finalidad de desarrollar la matriz más adecuada para este sitio.

Una vez resultas estas dificultades, la implementación de la matriz vegetación, junto con las otras matrices ambientales estudiadas, va a contribuir a garantizarle a la población mediante evidencia objetiva, que los niveles de protección para las diferentes vías de exposición son los adecuados y que han sido correctamente verificados.

Conforme a lo descrito en este trabajo, se puede concluir que el monitoreo radiológico ambiental, realizado de forma sistemática, es una herramienta fundamental ya que se registran los datos obtenidos, de forma periódica, con el objetivo de evaluar el desempeño ambiental Institucional.

Perspectivas Futuras

- A partir de la búsqueda bibliográfica consultada para desarrollar el presente trabajo, se implementará la incorporación de la matriz vegetación en el Plan de Vigilancia Radiológico Ambiental del CAE.
Se harán búsquedas específicas para resolver las dificultades que se irán presentando durante el desarrollo de la matriz.
- Investigar y evaluar la incorporación de la matriz leche al Plan de Vigilancia Radiológico Ambiental, con la finalidad de aportar el estudio de otra vía de exposición por descargas gaseosas, a la persona representativa.

La incorporación y evaluación de los resultados de esta matriz, analizada en forma conjunta con los resultados de las otras matrices ambientales estudiadas, proporcionará un análisis más integrado sobre el impacto radiológico en el medio ambiente. Esto nos permitirá evaluar de que manera pueden interactuar las matrices entre sí y ver si existe algún tipo de relación entre los resultados obtenidos de las mismas.

ANEXOS

Anexo I - Mapa del Centro Atómico Ezeiza.

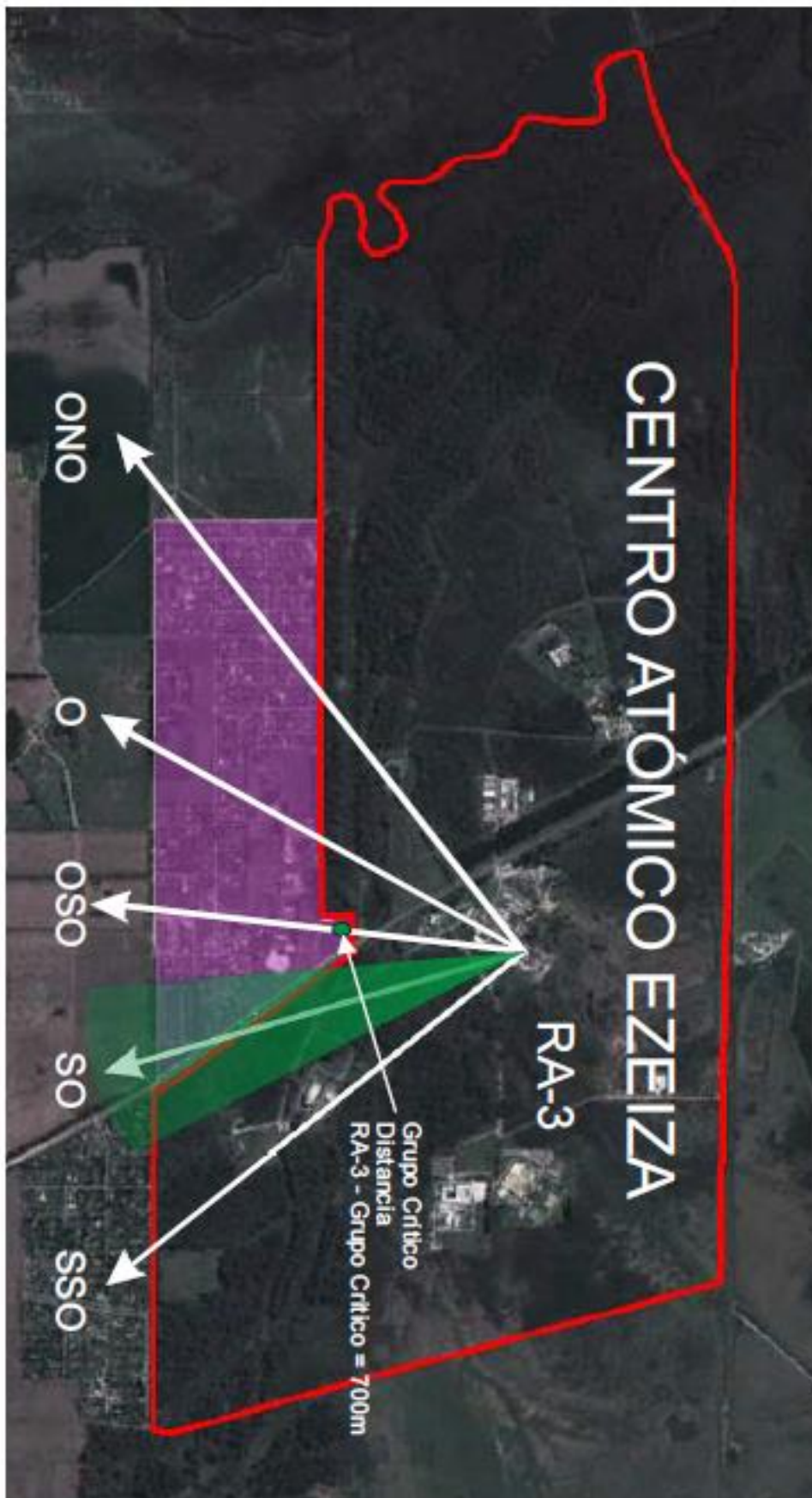


— Contorno del CAE — Río Matanza — Arroyo Aguirre — Arroyo El Palo

Anexo II - Barrio en el que vive la Persona Representativa.



Anexo III - Direcciones predominantes de los Vientos.



Anexo IV - Propiedades radioquímicas de los radionucleidos.

Health Physics Society - North Carolina Chapter (Nucleide Information Library).

Co-60

Forma: todos solubles

Características físicas:

Período de semi-desintegración: 5,271 años

Tipo de decaimiento: Beta – (menos)

Energía máxima beta: 0,3178 MeV (99.92%)

Gammas: 1.1732 MeV (99.90%)

1.3325 MeV (99.98%)

Categoría del riesgo:

Nivel C (riesgo bajo): 1 μ Ci a 100 μ Ci

Nivel B (riesgo moderado): > 100 μ Ci a 10 mCi

Nivel A (riesgo alto): > 10 mCi

Riesgos de radiación externa y blindaje:

El máximo rango de radiación beta es de aprox. 72 cm en el aire, 0.0332 cm en vidrio y 0.0762 en acrílico.

La tasa exposición gamma a 1 cm de 1 mCi es de $1,28 \times 10^2$ mSv/h. Esta tasa varía directamente con la actividad e inversamente con el cuadrado de la distancia. El 10 % de la capa de plomo es de 4.5 cm.

Riesgos si hay deposición interna:

El Co-60 tiene un período de vida media biológico de 9,5 días y una vida media efectiva de 9,5 días. La máxima carga corporal permitida es 1 μ Ci, basado en las Guías Stanford la dosis de todo el cuerpo no puede exceder los 5 mSv/año. El límite anual de incorporación (ALI) es 54 μ Ci.

Dosimetría y requisitos de bioensayos:

Son requeridos dosímetros TLD de cuerpo entero y de anillo si se manejan 5mCi, tanto de manera frecuente como no.

Puede ser requeridos ensayos de orina luego de derrames o incidentes de contaminación.

Problemas especiales y precauciones:

1. Trabajar detrás de blindaje que sea por dentro acrílico (como caja de guantes) y plomo por fuera. Maneje los viales de stock en blindajes o use pinzas.
2. Segregue los residuos que tienen vida media mayor que 90 días (pero no con H-3 y/o C-14).
3. Límite de descarga de residuos solubles al alcantarillado 1 $\mu\text{Ci}/\text{día}$ por laboratorio.

Cs-137

Forma: todos solubles

Características físicas:

Período de semi-desintegración: 30,17 años

Tipo de decaimiento: Beta/gamma

Energía máxima beta: 0,512 MeV

1,176 MeV (7%)

Gammas: 0,662 MeV (85%)

Categoría del riesgo:

Nivel C (riesgo bajo): 10 μCi a 2000 μCi

Nivel B (riesgo moderado): > 2001 μCi a 100000 μCi

Nivel A (riesgo alto): > 100000 μCi

Riesgos de radiación externa y blindaje:

El máximo rango de radiación beta es de aprox. 490 cm en el aire, 0.53 en acrílico.

La tasa exposición gamma a 1 cm de 1 mCi es de 3,4 mSv/h. Esta tasa varía directamente con la actividad e inversamente con el cuadrado de la distancia. El 10 % de la capa de plomo es de 2,1 cm.

Riesgos si hay deposición interna:

El Cs-137 tiene un período de vida media biológico de 70 días y una vida media efectiva de 70 días.

Mínima ingestión (ALI): 100 μCi

Máxima ingestión (ALI): 200 μCi

Órgano crítico: todo el cuerpo.

Dosimetría y requisitos de bioensayos:

Son requeridos dosímetros TLD de cuerpo entero y de anillo si se manejan 5mCi, tanto de manera frecuente como no.

Puede ser requeridos ensayos de orina luego de derrames o incidentes de contaminación.

Problemas especiales y precauciones:

1. Trabajar detrás de blindaje que sea por dentro acrílico (como caja de guantes) y plomo por fuera. Maneje los viales de stock en blindajes o use pinzas. Cambiar los guantes de forma frecuente.
2. Segregue los residuos que tienen vida media mayor que 90 días (pero no con H-3 y/o C-14).
3. Límite de descarga de residuos solubles al alcantarillado 10 $\mu\text{Ci/día}$ por laboratorio.

Sr-90

Características físicas:

Período de semi-desintegración: 28,2 años

Tipo de decaimiento: Beta

Radiación primaria beta: 546 KeV (100%)

Y-90: 2,484 KeV (99%)

523 KeV (1%)

Actividad específica: 1.41E2 Ci/g [5.21E12 Bq/g]

Tasa de dosis en piel: 0.20 mSv/hr at 30 cm from 1 MBq

Radiotoxicidad:

Ingestión: 1.6E3 mrem/uCi [4.19E-7 Sv/Bq] en hueso.

1.4E2 mrem/uCi [3.85E-8 mSv/Bq] en todo el cuerpo.

Inhalación: 1.1E4 mrem/uCi [2.86E-6 mSv/Bq] en pulmón.

1.3E3 mrem/uCi [3.51E-7 mSv/Bq] en todo el cuerpo.

Órgano crítico: Huesos por ingestión y pulmón por inhalación.

Rutas de ingreso al organismo: Ingestión, inhalación punción, por herida en piel (absorción).

Riesgo Radiológico: Exposición interna y externa, contaminación.

Blindaje:

Plástico como Plexiglass 9,2 mm

La tasa de dosis para acceder debería ser el fondo pero < 2 mR/h.

Dosimetría:

Son requeridos dosímetros TLD de cuerpo entero y de anillo siempre que se manipula Sr-90.

Precauciones:

1. Almacenar el Sr-90 detrás de 12 mm de plástico o un plástico más grueso (Plexiglass) para blindar de modo tal que la dosis sea baja [< 2 mR/hr].
2. Usar herramientas para manipular indirectamente las fuentes no blindadas o contenedores contaminados, evitar el contacto directo con las manos.
3. Asegurarse de poseer un equipo Geiger Mueller presente en el área de trabajo para detectar cualquier anomalía y tomar acciones rápidamente.

Blinde los contenedores de los residuos de manera tal de mantener la tasa de dosis < 2 mR/h.

I-131

Características físicas:

Período de semi-desintegración: 8,04 días

Tipo de decaimiento:

Gamma y Rayos X: Primaria: 364 KeV (81%) Otras: 723 KeV

Beta: Primaria: 606 KeV (89%) Otras: 248-807 KeV

Actividad específica: $1.24E5$ Ci/g [$4,600$ TBq/g] max.

Tasa de dosis en piel: 0.20 mSv/hr at 30 cm from 1 MBq

Radiotoxicidad:

Ingestión: $1.6E3$ mrem/uCi [$4.19E-7$ Sv/Bq] en hueso.

$1.4E2$ mrem/uCi [$3.85E-8$ mSv/Bq] en todo el cuerpo.

Inhalación: $1.1E4$ mrem/uCi [$2.86E-6$ mSv/Bq] en pulmón.

$1.3E3$ mrem/uCi [$3.51E-7$ mSv/Bq] en todo el cuerpo.

Órgano crítico: Huesos por ingestión y pulmón por inhalación.

Rutas de ingreso al organismo: Ingestión, inhalación punción, por herida en piel (absorción).

Riesgo Radiológico: Exposición interna y externa, contaminación.

Blindaje:

Plástico como Plexiglass 9,2 mm

La tasa de dosis para acceder debería ser el fondo pero < 2 mR/h.

Dosimetría:

Son requeridos dosímetros TLD de cuerpo entero y de anillo siempre que se manipula Sr-90.

Precauciones:

1. Almacenar el Sr-90 detrás de 12 mm de plástico o un plástico más grueso (Plexiglass) para blindar de modo tal que la dosis sea baja [< 2 mR/hr].
2. Usar herramientas para manipular indirectamente las fuentes no blindadas o contenedores contaminados, evitar el contacto directo con las manos.
3. Asegurarse de poseer un equipo Geiger Mueller presente en el área de trabajo para detectar cualquier anomalía y tomar acciones rápidamente.
4. Blinde los contenedores de los residuos de manera tal de mantener la tasa de dosis < 2 mR/h.

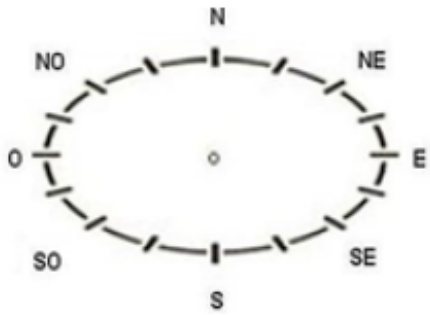
Anexo V - Planillas de Muestreo.

FD-ATN-025 r10

Plan de Vigilancia Radiológica Ambiental – Unidad de Seguridad CAE

Planilla de Muestreos

Nº _____

Responsable/s de la toma de muestra: _____					
Fecha de muestreo: _____	Hora de muestreo: _____				
Laboratorio receptor: _____					
Fecha de envío: _____					
<p style="text-align: center;">*DATOS METEOROLÓGICOS</p> <p style="text-align: center;"><u>Temperatura ambiente</u></p> <p>MAX: _____ °C MIN: _____ °C</p> <p>Humedad: _____ %</p> <p style="text-align: center;"><u>Presión</u></p> <p>Absoluta: _____ HPa Relativa: _____ HPa</p> <p>Vientos: _____ m/s</p> <p>Dirección:</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Observaciones: _____ _____ _____</p>	<p style="text-align: center;">DATOS GENERALES</p> <p>Sitio de muestreo: _____ Tipo de muestra: _____ Rótulo de la muestra: _____ Cantidad de muestra: _____</p> <p>Coordenadas geográficas: S _____ W _____</p> <hr/> <p style="text-align: center;">ASPECTOS GENERALES DEL SITIO DE MUESTREO</p> <p><u>MUESTRAS DE LÍQUIDOS:</u> Turbidez: _____ Color: _____ Olor: _____</p> <p style="text-align: center;"><u>Condiciones del cuerpo receptor</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">HIDRAULICIDAD</td> <td style="text-align: center;">NIVEL DEL CUERPO RECEPTOR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BUENA - REGULAR - MALA</td> <td style="text-align: center;">BAJO - MEDIO - ALTO</td> </tr> </table> <p>OBSERVACIONES: _____ _____ _____</p> <p><u>MUESTRAS DE SÓLIDOS:</u> Características de la zona: _____ _____ _____</p>	HIDRAULICIDAD	NIVEL DEL CUERPO RECEPTOR	BUENA - REGULAR - MALA	BAJO - MEDIO - ALTO
HIDRAULICIDAD	NIVEL DEL CUERPO RECEPTOR				
BUENA - REGULAR - MALA	BAJO - MEDIO - ALTO				
<u>Descripción de la operación:</u> _____ _____ _____ _____					
<u>Observaciones generales:</u> _____ _____ _____ _____					

*Datos obtenidos de la Estación Meteorológica (Modelo: WS1081) ubicada en techo del edificio del RA3

Planilla para muestras enviadas a los laboratorios:

Planilla N°:

Rótulo muestra	Laboratorio	Fecha envío	Fecha recibo	Informe Lab N°	Resultados					
					Gamma	Tritio	Estroncio	Uranio	Alfa	Beta

ANEXO VI - Puntos de Muestreo propuestos para Matriz Vegetales de hoja, raíz y pasto.



- **Punto Blanco:** Vegetales de la misma especie sembrados en lugares que se distancian del CAE 30 km como mínimo.
- **Punto Control:** Límite Barrio Melazzi.
- **Punto Persona Representativa:** Límite Puesto 5.

Agradecimientos

Agradezco enormemente el apoyo, paciencia, comprensión y colaboración de mi Co-Directora Gabriela Almada, a mi Director Ariel Novello y a Ana Castellanos por recibirme en el Sector de Vigilancia Radiológica Ambiental de la Subgerencia de Protección y Seguridad Radiológica, Física y Convencional, brindándome la oportunidad de integrarme a su equipo de trabajo y depositar confianza en mí. Quiero agradecer también a Alejandra Escandell por su colaboración en el trabajo y a todos mis compañeros del Área por haberme recibido y hecho sentir muy bien.

Mis agradecimientos a todos mis compañeros/as del Instituto Dan Beninson, en especial a la coordinadora Sandra Siri, a Karina Socolovsci, Adrián Daoud y a todos los docentes que aportaron a mi formación.

Agradezco también a todas las personas que de una forma u otra colaboraron con mi trabajo: Pablo Arenillas, Gabriela Cerutti, Marisa Trota, Rita Pla, Silvia López y Silvana Semino.

Agradecida siempre a mi familia y amigos que me acompañan día a día.

Referencias Bibliográficas

[1] Programs and Systems for Source and Environmental Radiation Monitoring. International Atomic Energy Agency Vienne. Safety Reports Series No. 64. (2010).

[2] Informe Anual 30-49. Autoridad Regulatoria Nuclear. (1998).

[3] CSN – Consejo de Seguridad Nuclear. Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental. Colección Informes Técnicos 35.2012. INT-04.28 (2011).

[4] Monitorización del medio ambiente y de las fuentes de radiación con fines de protección radiológica. Normas de seguridad de la OIEA para la protección de las personas y el medio ambiente. Guía de seguridad N° RS-G-1.8 (2010).

[5] Radioprotección. Lic. Esteban Thomasz, Autoridad Regulatoria Nuclear. Buenos Aires (2000).

[6] State of the art of standard methods used for environmental radioactivity monitoring. Rudolf Engelbrecht, Martina Schwaiger, Applied Radiation and Isotopes Vol.66. Issue 11, 1604-1610 (2008).

[7] Monitoreo ambiental en los alrededores de las centrales nucleares de la República Argentina. Canoba, A.C.; López, F.O. y Bruno, HA. ARN PI-15/9B (1997).

[8] Plan de monitoreo radiológico ambiental rutinario en las inmediaciones de las instalaciones nucleares y radiactivas del país. Czerniczyniec, M. A; Bonetto, J. P.; Giustina, D. Autoridad Regulatoria Nuclear (2009).

[9] Radiological monitoring technical guidance. Environmental radiological monitoring. Environment Agency. (2010).

[10] Informe Ambiental Institucional del Centro Atómico Bariloche (2009).

[11] Apuntes de Clases de la Especialización en Radioquímica y Aplicaciones Nucleares. IDB - UNSAM - CNEA. Protection Radiológica y Seguridad Nuclear. Adrian Daoud y Alejandro Stankevicius (2014).

[12] Predicting transfer of radionuclides: soil-plant-animal. Modelling Radiactivity in the Environment 261 E. Neil Crout, Nick Beresford, Arthur Sanchez (2003).

[13] CSN – Consejo de Seguridad Nuclear. Guía de Seguridad. Diseño y desarrollo del Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental para centrales nucleares. nº 4.1. B-30.951-(1993).

[14] Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. A Guidebook. Technical Reports Series Nº 295. IAEA, Vienne (1989).

[15] Radionuclides in grassland, heath, mire and mountain ecosystems. Carol A. Salt (2007).

[16] Methods for determination of Stronium-90 in food and environmental samples by Cerenkov counting. Suomela, J; Walberg, L; Melin, J. SwedishRadiation. (1993).

Referencias Complementarias

[17] Radiaciones Ionizantes - Utilización y riesgos II. Xavier O. Aramburo, Jaume J. Bisbal et al. B-23.175-96. (1998).

[18] "Niveles de Cs-137 y Sr-90 en muestras ambientales de la República Argentina". Bruno, H.; Nollman, C.; Escribano, T. y Jordán, O. CNEA NT 9/81. (1981).

[19] Manual de Técnicas de Laboratorio. Autoridad Regulatoria Nuclear. (2001).

[20] Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection. IAEA Safety Standards. Safety Guide Nº RS-G-1.8. Viena, (2005).

[21] Auditoria Ambiental: "Herramienta utilizada para evaluar y mejorar el desempeño ambiental institucional". Lic. Goulart, Helga.

[22] Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. A Guidebook. Technical Reports Series No. 295. International Atomic Energy Agency Vienna, (1989).

[23] Sampling. Environmental Measurements Laboratory. Section 2, Vol. II. HASL-300, 28th Edition. U.S. Department of Energy. (1997).

[24] IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection. International Atomic Energy Agency, Vienna (2007).

[25] Radiochemical Analytical Procedures for Analysis of Environmental Samples. Environmental Protection Agency. EMSL-LV-0539-17 EPA, Office of Radiation and Indoor Air, EPA, Las Vegas, NV (1979).

[26] Procedures Manual, HASL-300, 27th ed., HASL-300-ED.27 Vol. 1, Environmental Measurements Laboratory, USDOE, New York (1990).

[27] Radiation Protection Instrumentation - Portable Equipment for Measuring Specific Activity of Beta-emitting Radionuclides in Foodstuffs, IEC 61562 Ed. 1.0, International Electrotechnical Commission, Geneva (2001).

[28] Radiation Protection Instrumentation - Equipment for Measuring Specific Activity of Gamma-emitting Radionuclides in Foodstuffs, IEC 61563 Ed. 1.0, International Electrotechnical Commission, Geneva (2001).

