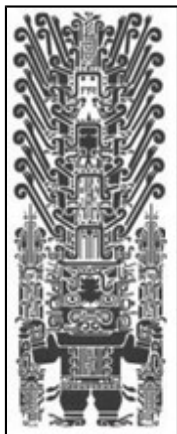


**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**



TESIS

***“IMPACTO RADIOLÓGICO EN LA SALUD DE LOS POBLADORES DE
HUARANGAL DEBIDO A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DE
YODO-131 POR EL CENTRO NUCLEAR “RACSO”.***

PRESENTADO POR:

JOSÉ MANUEL OSORES REBAZA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN SALUD PÚBLICA

LIMA – PERÚ

2017

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Peruano de Energía Nuclear por darme la oportunidad de mi realización profesional.

A mi esposa Claudia y toda mi familia por su paciencia y comprensión



INDICE

	<i>Página</i>
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Planteamiento del Problema	9
1.3. Objetivos	11
1.4. Justificación	12
1.5. Alcances y Limitaciones	15
1.6. Definición de Variables	17
CAPITULO II MARCO TEORICO	19
2.1. Teorías generales	19
2.2. Bases teóricas	24
2.3. Marco Conceptual	28
2.4. Hipótesis	29
CAPITULO III MÉTODO	30
3.1. Tipo de Estudio	30
3.2. Diseño de Investigación	30
3.3. Estrategia de prueba de hipótesis	30
3.4. Variables	31
3.5. Población	32
3.6. Muestra	32
3.7. Técnicas de Investigación	33
3.7.1. Instrumentos de recolección de datos	33
3.7.2. Procesamiento y Análisis de datos	37
CAPITULO IV PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	41
4.1. Contrastación de Hipótesis	41
4.2. Análisis e interpretación	41
CAPITULO V DISCUSIÓN	65
5.1. Discusión	65
5.2. Conclusiones	69
5.3. Recomendaciones	69

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como principal objetivo evaluar el impacto radiológico en la salud de los habitantes del centro poblado Huarangal debido a las actividades de investigación y desarrollo que se realizan en el Centro Nuclear *Oscar Miró Quesada de la Guerra "RACSO"*. Se realizó un estudio radiosanitario sobre la incorporación de I-131 debido a las emisiones gaseosas de la Planta de Producción de Radioisótopos de este Centro Nuclear. La investigación consistió en el monitoreo y determinación de descargas atmosféricas de I-131 por un periodo de 24 años, así como la estimación de las dosis individuales y colectivas debido a este radioisótopo en los diferentes miembros de esta comunidad, siguiendo metodologías del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Con las estimaciones dosimétricas integradas se procedió a determinar el riesgo de generación de efectos estocásticos, principalmente cáncer, debido a la exposición continua a esta fuente radiactiva. Los resultados obtenidos indican que durante el tiempo que duró la investigación, se ha incrementado la dosis del poblador de Huarangal debido a radiactividad artificial a muy bajos niveles con respecto a la dosis que recibe en forma natural del medio ambiente por lo tanto se puede concluir que no se ha presentado ningún impacto adverso o detrimento de la salud en esta comunidad, verificándose más bien que los índices de morbilidad se deben a factores socio-económicos como la pobreza extrema, ausencia de servicios de salud y educación limitada, prevaleciendo enfermedades de tipos respiratorias y transmisibles. Se recomienda ampliar el estudio sobre otros efectos diferentes al cáncer radioinducido como el estrés, afecciones cardíacas y digestivas, a fin de continuar con las evaluaciones del impacto en la salud debido a las actividades del Centro Nuclear.

Palabras clave: Radiactividad, dosis, impacto radiológico, riesgo radiológico, I-131

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to evaluate the radiological impact on the health of the inhabitants of the Huarangal village center due to research and development activities in the Nuclear Center *Oscar Miró Quesada de la Guerra "RACSO"*. A radiosanitary study was carried out on the incorporation of I-131 due to gaseous emissions from the Radioisotope Production Plant of the Nuclear Center. The research involved monitoring and determination of atmospheric discharges of I-131 for a period of 24 years, and the estimation of individual and collective doses because of this radioisotope in the different members of the community, following methodologies of the International Atomic Energy Agency. With integrated dosimetric estimates proceeded to determine the risk of generation of stochastic effects, primarily cancer, due to continuous exposure to this radioactive source. The results obtained indicate that during the period of investigation, the dose has increased the population of Huarangal due to artificial radioactivity to very low levels with respect to the dose received naturally from the environment. Therefore it can be conclude that no adverse or detriment to health in this community was not found, verifying that the morbidity due to socio-economic factors such as poverty, lack of health services and limited education, prevailing communicable diseases and respiratory rate. It is recommended to expand the study of other different effects to radiation-induced cancer and stress, cardiac and digestive disorders, to continue with impact assessments on health due to the activities of the Nuclear Center.

Key words: Radioactivity, dose, radiological impact, radiological risk, I-131.

INTRODUCCION

Con la capacidad de liberar la energía de enlace que se encuentra en el núcleo atómico, la humanidad ha logrado alcanzar un gran número de desarrollos técnicos; sin embargo, lamentablemente el descubrimiento del proceso de fisión nuclear estuvo asociado con la Segunda Guerra Mundial y la primera aplicación de esta tecnología fue con propósitos militares, dando como consecuencia un gran número de muertes razón por la cual hasta en la actualidad la energía nuclear no es bien vista por la población. La relación entre la energía nuclear y los conflictos armados constituyen un factor trascendental de amplia oposición pública a las actuales aplicaciones de este tipo de energía y sus subproductos los cuales han sido desarrollados en las últimas décadas (ONU, 1987).

El desarrollo de reactores nucleoelectricos fue una oportunidad de proporcionar a la sociedad una fuente de energía que permita garantizar un mejor nivel de vida en aquellos países que no cuentan con suficientes reservas de combustible fósil. Sin embargo, el aporte más importante de la energía nuclear a la humanidad lo constituye la enorme cantidad de radionucleidos disponibles para diferentes actividades. Así, en los campos de investigación biomédica, el empleo de los isótopos radiactivos es una actividad de uso común para diferentes procesos de diagnóstico y tratamiento de un gran número de enfermedades.

La aplicación de la energía nuclear, especialmente los isótopos radiactivos como herramienta de investigación han sido incorporados con cierta discrepancia por algunos científicos, sin embargo, es importante resaltar que muchos descubrimientos en las ciencias biomédicas no habrían sido posibles si no fuera por la disponibilidad de estos radionucleidos.

Cuando consideramos las posibles implicaciones de exposición de los agentes ambientales y la aparición de cáncer, una distinción importante debe ser hecha entre dos grupos importantes de agentes: Los carcinógenos genotóxicos, en los cuales no existe un límite mínimo de exposición y los no genotóxicos en donde las evidencias han sugerido que debajo de un determinado límite, el riesgo de surgimiento de cáncer no existe. Sólo los riesgos de cáncer son cuantificados porque el riesgo acumulado de cáncer es mucho más elevado que el riesgo de efectos genéticos o teratogénicos y por el fundamento fuerte para cuantificar riesgos de cáncer fatales. En promedio, alrededor de la mitad de los cánceres inducidos por radiación terminan en muerte. Los efectos biológicos producidos por dosis bajas de radiación continúan siendo objeto de controversia. Cada cierto tiempo aparecen nuevos estudios a escala molecular y celular que arrojan luz sobre los mecanismos moleculares básicos en las respuestas de los sistemas vivos a las radiaciones ionizantes.

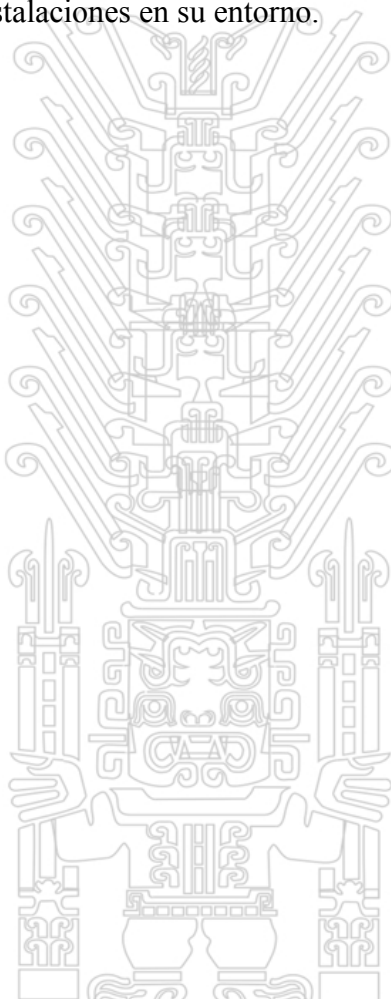
El Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra, "RACSO se encuentra ubicado al norte de la ciudad de Lima, a $11^{\circ}47'42''$ grados de Latitud Sur y $77^{\circ}00'45''$ grados de Longitud Oeste. Entre sus instalaciones más relevantes cuenta con el Reactor Nuclear de Investigación de 10 megawatts térmicos de potencia (RP-10) y a la Planta de Producción de Radioisótopos (PPR). Estas instalaciones son utilizadas para la producción de radioisótopos, prestación de

servicios tecnológicos y desarrollo de investigación científica y aplicada en el área nuclear. Sin embargo, estas actividades van a tener diferentes grados de repercusiones en el medio ambiente, siendo uno de los problemas más evidentes la producción y posible liberación de radionucleídos generados por la fusión nuclear o la activación de materiales, razón por la cual se adoptan una serie de medidas para evitar los posibles escapes accidentales de radiactividad y reducir al mínimo posible las descargas durante el funcionamiento normal de estas instalaciones que puedan generar severos efectos sobre la salud (MEM, 2002). Por estas razones, independientemente de los límites autorizados y del control de descargas que se efectúan en cada instalación, es necesario establecer un programa de vigilancia ambiental en sus alrededores para así, monitorear el impacto radiológico que pudieran recibir los habitantes de centros comunales ubicados en las cercanías.

Esta investigación partió de la hipótesis de que las actividades desarrolladas por el Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra “RACSO” desde el año 1990 al 2005 han incrementado la dosis de radiación que reciben las poblaciones de su entorno.

La presente Tesis titulada *Impacto Radiológico en la salud de los pobladores de Huarangal debido a descargas atmosféricas de yodo-131 por el Centro Nuclear “RACSO”*, tiene por finalidad evaluar el grado de impacto radiosanitario debido a las actividades del Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra “RACSO” entre los años 1990 y 2014 en los habitantes de las unidades agropecuarias ubicadas cerca al área de influencia de estas instalaciones.

Para ello, se han identificado las principales vías de transferencia de radionucleídos en este ecosistema, determinando los grupos críticos para una eventual descarga accidental de materiales radiactivos, se estimaron las descargas ambientales y los niveles de actividad en este centro poblado así como las dosis acumuladas y se evaluó la situación de salud de esta población a fin de identificar impactos somáticos o psicosomáticos entre los pobladores debido a la presencia de estas instalaciones en su entorno.



CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

El conocimiento generado por grandes científicos como Isaac Newton, Albert Einstein, Henri Becquerel, Wilhelm Roentgen, Marie y Pierre Curie, Enrico Fermi y Niels Bohr entre otros, contribuyeron en el desarrollo de la tecnología nuclear; sin embargo, fue en plena Segunda Guerra Mundial cuando los países aliados buscan afanosamente un arma que podría inclinar la guerra a su favor, así, en el Laboratorio de Los Álamos, en pleno desierto de Nuevo México (USA), un grupo de científicos logran fabricar las primeras bombas atómicas las cuales fueron utilizadas en las ciudades de Hiroshima y Nagasaki (Gosling, 1999).

Concluida la guerra, las grandes potencias muestran su interés por llegar a dominar la energía contenida en el interior del átomo; la Unión Soviética se constituye en el primer país precursor de la energía núcleo eléctrica al construir su primera planta en la ciudad de Obninsk, aportando a la humanidad una nueva fuente de energía derivada de la fisión de los núcleos de uranio. Esta iniciativa es emulada por otros países desarrollados como Francia y Gran Bretaña; este último país inaugura en 1956 la primera unidad de la Central de Calder Hall y hasta 1969, Gran Bretaña era el país con mayor volumen de capacidad nuclear en explotación, sin embargo, años más tarde los Estados Unidos logran alcanzar la primacía mundial en la tecnología nuclear (Jay, 1957).

Kaul y Roedler (1980), estudiaron la biocinética y distribución dosimétrica de los diferentes radioisótopos del yodo según los grupos etarios, consumo de leche y tasa de inhalación, encontrando que la ingesta de I-131 es independiente de la edad y puede llegar a ser 1,7 veces mayor de lo normal en poblaciones donde la dieta es insuficiente en yodo estable. Por otro lado, Oliver, Ballat y Manuel (1982) encontraron que la bioacumulación de I-129 procedente de una central nuclear sobre Missouri, ocurre en mayor grado en leche que en tiroides. Nishizawa, Hamada y Sakuma (1983) realizaron la monitorización de trabajadores que estaban contaminados con I-131 analizando muestras de saliva con un detector de centelleo sólido, encontrando dosis absorbidas en tiroides en el rango de 378 a 4740 microGray. Además, Suman, Easterly y Baratta (1982) llegan a validar el análisis de I-131 por espectroscopía gamma.

Budyka y Ogorodnikov (1993) demostraron que para una adecuada monitorización de radioyodo en emisiones gaseosas, es suficiente el empleo de filtros específicos que permitan el muestreo de todas las formas químicas posibles en que se puede encontrar este radioelemento en el aire, además, concluye que la omisión del muestreo de todas estas formas químicas de yodo puede traer como consecuencia una sobre estimación dosimétrica por inhalación hasta en cinco veces su valor real. Sobolev y Voigt (1996) estimaron la dosis en tiroides de 49360 habitantes de la ciudad de Pripjat (URSS) quienes fueron evacuados luego del accidente nuclear de Chernobyl; la incorporación durante los primeros cinco días después del accidente fue descrita por un modelo simple de incorporación (inhalación), posteriormente las incorporaciones en los siguientes días fueron asumidas en función a la

concentración de radioyodo en leche. En la segunda etapa de su trabajo realizaron la correlación entre las dosis calculadas y parámetros individuales como lugar de residencia, ingesta de yodo estable y edad en el momento del accidente para así estimar las dosis colectivas y riesgo de carcinoma de tiroides para diferentes grupos de edad.

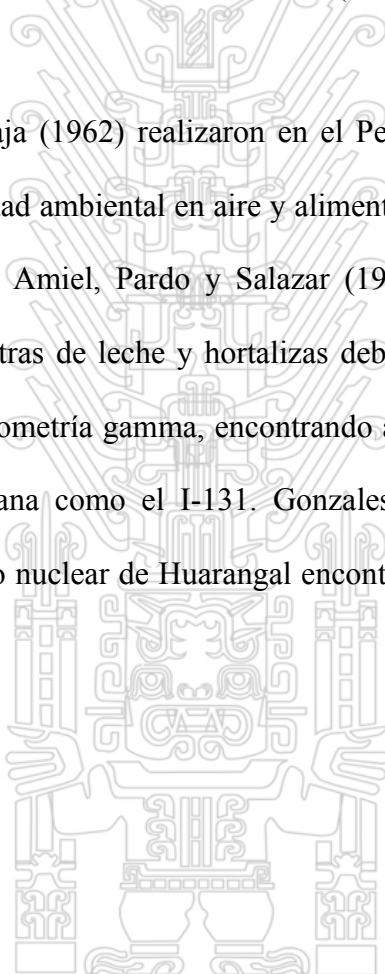
Alonso *et al*, (2004) realizaron un estudio de prevalencia de punto, mediante revisión sistemática de casos en fuentes primarias y secundarias del Área de Salud de Guadalajara, incluyendo tumores malignos invasivos en mayores de 14 años y analizándola distribución general y específica en función de residencia, comarca y proximidad a las centrales nucleares, encontraron que las prevalencias de cáncer son similares a las publicadas en otras regiones y, tras ajuste por edad, son mayores en el medio urbano que en el rural.

En un estudio de cohortes aplicados a individuos menores de 18 años durante la fecha del accidente de Chernobyl, Brenner *et al*, (2011) diagnosticaron sesenta y cinco incidencias de cáncer de tiroides posterior al accidente, con una relación dosis-respuesta linealmente consistente obteniendo un Exceso de Riesgo Relativo por Gray de 1,91 (95% de confianza), demostrando así que los riesgos de cáncer de tiroides relacionados con la incorporación de I-131 persistieron durante dos décadas después de la exposición, sin evidencia de disminución durante el período de observación, demostrando que sus resultados son compatibles con los estudios retrospectivos y ecológicos post-Chernobyl.

El Gran Terremoto del Este de Japón producido el 11 de marzo del año 2011, en el distrito de Tohoku de Japón, generó grandes tsunamis que se lanzaron a las centrales nucleares de Fukushima. Una gran cantidad de elementos radiactivos que incluyen I-131 y Cs-137 fueron

liberados al medio ambiente, estimándose que las cantidades totales liberados fueron 1 a 2 x 10¹⁷Becquerels de Yodo-131 y de 1 a 2 x 10¹⁶Becquerels de Cesio-137 los cuales entraron en el aire y se dispersaron por los vientos a las poblaciones vecinas (Akahane *et al*, 2012), llegando incluso a detectarse en países de la región ubicados en el hemisferio norte como Cuba (Alonso, Guillen, Cartas, Morera y Díaz, 2012), sin embargo, en nuestro país no se encontraron niveles detectables procedentes de Fukushima (Osoreo y Jara, 2013).

Frisancho, Pardo, Pizarro y Jibaja (1962) realizaron en el Perú, los primeros ensayos para evaluar los niveles de radiactividad ambiental en aire y alimentos utilizando sistemas simples de análisis instrumental; Jibaja, Amiel, Pardo y Salazar (1967) reportaron los niveles de radiactividad beta total en muestras de leche y hortalizas debidamente acondicionadas para análisis instrumental por espectrometría gamma, encontrando algunos productos de fisión de importancia para la salud humana como el I-131. Gonzales et al, (2001,2002) iniciaron estudios ambientales en el centro nuclear de Huarangal encontrando la presencia de I-131 en muestras de aerosoles.



1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro del área de influencia del centro nuclear, se encuentra el centro poblado Huarangal, ubicado en dirección Nor-Este, el cual está conformado por agricultores dedicados a la producción de cultivos hortícolas. Esta población inevitablemente va a recibir las descargas generadas por las actividades de las diferentes instalaciones del centro nuclear y por lo tanto van a recibir un impacto ambiental que puede afectar la salud de los pobladores.

El impacto en la salud de las radiaciones ha sido ampliamente estudiado; se incluyen en este grupo los minerales que contienen radón y uranio, exposiciones ocupacionales, accidentes y ensayos nucleares. Estas radiaciones son consideradas carcinógenos genotóxicos y por lo tanto, no existe límite de exposición mínima para la aparición de casos de cáncer (Boticario y Cascales, 2008).

La exposición ocupacional es otra fuente potencial de riesgo, entre las personas expuestas se encuentran los trabajadores de minas, industrias nucleares, equipamiento hospitalario y los investigadores. Los accidentes nucleares están también asociados a la aparición de determinados tipos de cáncer. A partir del accidente de Chernobyl, estudios de salud pública en varias poblaciones expuestas a radionucleídos provenientes del reactor siniestrado presentaron una alta incidencia de cáncer a tiroides (Alfaro y Vargas, 2005).

La mayoría de los contaminantes son sustancias químicas, sólidas o gaseosas producidas como subproductos o desechos. La contaminación también puede ser física como las emisiones de energías indeseables y perjudiciales, como el calor excesivo, el ruido o la

radiación. Contaminación atmosférica significa la presencia de materiales indeseables en la troposfera y regiones exteriores de la atmósfera; los materiales indeseables como son algunos gases y otras partículas flotantes, cuando sobrepasan los valores normales de la concentración atmosférica en regiones localizadas se consideran contaminantes cuando se tornan nocivos para los organismos vivientes.

La radiación ionizante, es una forma de energía radiante que tiene la potencia suficiente para dañar los tejidos. La exposición a las radiaciones ionizantes causa dos tipos de daños a las células del cuerpo humano. Uno es el daño genético que altera los genes y cromosomas, causando defectos genéticos en la generación inmediata o varias generaciones posteriores. El segundo tipo es el daño somático, que se manifiesta durante la vida del individuo (quemaduras, leucemia, cáncer, etc.). Por su naturaleza, los residuos radiactivos constituyen desechos peligrosos generados por el hombre debido a diferentes aplicaciones en áreas como la medicina, en procesos de control de calidad, en la investigación, en aplicaciones militares, en la generación de energía en centrales nucleares, etc.

El problema se fundamenta en la falta de conocimiento sobre el impacto que pueda ejercer en la calidad de vida de una población cercana a un centro nuclear de investigación, razón por la cual es necesario contar con información validada que permita conocer la dosis recibida y el riesgo radiológico al que están sometidos estos pobladores.

Debido a estas consideraciones, el problema se plantea de la siguiente manera:

¿Las emisiones de radioyodos debido a las actividades de investigación, producción y desarrollo tecnológico que se llevan a cabo en el Centro Nuclear Oscar Miro Quesada de la Guerra van a producir un impacto en la salud del centro poblado Huarangal?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

La investigación que se llevó a cabo pretende conocer en qué medida se presenta el impacto radiológico de las descargas atmosféricas producidas en la población de Huarangal, ubicada en el valle del río Chillón, Lima, entre los años 1990 y 2014, mediante la estimación de la dosis individual y la dosis colectivas, bajo condiciones rutinarias de operación del Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra “RACSO”.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinación de los niveles de radiactividad artificial debido a la presencia de I-131 en aire.
- Estimación de las descargas de I-131 por las instalaciones relevantes.
- Caracterización de la población objeto de estudio a fin de estimar el grado de radiosensibilidad de los grupos poblacionales presentes en el centro poblado Huarangal.
- Estimar el impacto radiológico en los habitantes del centro poblado Huarangal mediante el cálculo de dosis individual y dosis poblacional.
- Identificar la influencia en la salud humana mediante la estimación de los índices de

riesgo en la población crítica.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

- Proponer medidas de mitigación de contaminación radiactiva en situaciones de contingencia y descargas accidentales de elementos radiactivos al medio ambiente.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Relevancia Teórica

El impacto que generan los reactores de potencia nucleoelectrica y los reactores de investigación sobre las poblaciones ha sido estudiado por equipos científicos especializados en las etapas previas a su construcción, durante su etapa de operación y luego del cierre de estas instalaciones (Azuela y Talancón, 1999). El Ministerio de Energía y Minas, establece que todas las instituciones productoras de descargas ambientales deben llevar a cabo un estudio de impacto ambiental preliminar antes de iniciar la construcción del mismo, en donde se incluya el impacto en la salud de las poblaciones afectadas, además luego de la construcción y puesta en operación, no debe de incrementar este impacto estimado durante los estudios pre-operacionales (Walsh Perú, 2011).

El problema que se pretende estudiar está vigente desde que se plantea estudiar el efecto de bajas dosis sobre la población; los estudios previos desde el punto de vista de protección radiológica estuvieron orientados a evaluar el impacto sobre la salud de la población en situaciones de una emergencia radiológica o de altas liberaciones de radionucleidos al ambiente con el consiguiente riesgo de producir enfermedades radioinducidas en la población (MEM, 2003), sin embargo, en los últimos años se ha prestado interés en llevar a cabo

estudios epidemiológicos asociados a la exposición de poblaciones a bajas dosis de radiación, las cuales por tener un efecto acumulativo, van a ocasionar un efecto a largo plazo en la salud de estas personas.

1.4.2. Relevancia Social

Toda instalación nuclear o radiactiva tiene un impacto negativo en la opinión pública razón por la cual es necesario contar con la información detallada y confiable de los riesgos que pueda ocasionar en las actividades de la misma sobre la salud de la población. Organizaciones ecologistas internacionales, como el caso de Greenpeace, son entidades opositoras al empleo de la energía nuclear por el riesgo potencial que puede ocasionar al medio ambiente y las poblaciones involucradas; en algunos países, estas organizaciones han ejercido presión política para el cierre de centrales nucleares generadoras de energía eléctrica.

En el Perú, las instalaciones radiactivas del Centro Nuclear RACSO no tienen la magnitud de una central nuclear de potencia, como aquellas generadoras de energía nucleoelectrica, sin embargo, es importante contar con estudios que demuestren que las operaciones rutinarias no producen un impacto radiosanitario significativo en la población. En nuestro país, la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional del IPEN (2006), es la entidad que otorga la licencia de operación de las instalaciones radiactivas y nucleares, para ello, es necesario que estas instalaciones presenten estudios de impacto radiológico en poblaciones cercanas durante la etapa de funcionamiento del centro nuclear.

El problema que se pretende investigar está vigente desde que se plantea estudiar el efecto de bajas dosis sobre la población; los estudios preliminares desde el punto de vista de protección radiológica estuvieron orientados a evaluar el impacto sobre la salud de la población en situaciones de una emergencia radiológica o de liberaciones de altas concentraciones de radionucleídos al medio ambiente con el consiguiente riesgo a la salud de la población, sin embargo, en los últimos años se ha prestado interés por llevar a cabo estudios epidemiológicos asociados a la exposición de poblaciones a bajas dosis de radiación, las cuales por tener un efecto acumulativo, van a ocasionar un efecto a largo plazo en la salud de estas personas (Caicedo, Arguelles y Alzate, 1996).

1.4.3. Relevancia Aplicada

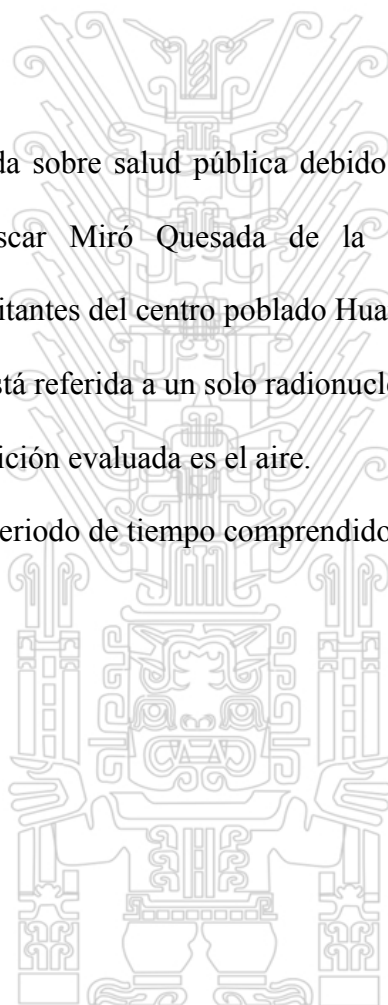
Los resultados que se puedan obtener mediante la estimación del riesgo en la población objeto de estudio, puede ser extrapolada a las poblaciones rurales que se encuentran más alejadas del Centro Nuclear, mediante un adecuado ajuste de los factores de dispersión atmosférica. El presente estudio no va a ocasionar riesgo a la población ni desde el punto de vista de morbilidad ni mortalidad, dado que la recopilación de datos se llevará a cabo mediante encuestas, observaciones de campo y ensayos analíticos de las concentraciones de radionucleídos en aire. El interés de esta investigación para los programas de salud pública en el país es relativo, desde el punto de vista e programas de salud ambiental es importante el aporte de la metodología de trabajo a utilizar y que puede ser extrapolado a otros problemas ambientales; además, el estudio permite evaluar la percepción del riesgo del poblador rural con respecto a sus actividades rutinarias y la presencia del centro nuclear. En base a estas

consideraciones, el proyecto es de interés para el OIEA y la Organización Panamericana de Salud debido a que incorpora el estudio de las radiaciones de bajas dosis en salud pública.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1. Alcances

- La investigación realizada sobre salud pública debido al impacto de las actividades del Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra “RACSO” se aplica exclusivamente a los habitantes del centro poblado Huarangal.
- La estimación de dosis está referida a un solo radionucleido (I-131).
- La única fuente de exposición evaluada es el aire.
- El estudio abarca en un periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2014.



1.5.2. Limitaciones

Entre las limitaciones más importantes encontradas durante el desarrollo de la presente investigación se tienen:

- La baja concentración de radiactividad en aire lo que no permite su cuantificación directa mediante el empleo de sistemas de monitoreo instrumental en la misma comunidad agrícola, razón por la cual fue necesaria la estimación de las concentraciones de aire a partir de un modelo matemático.
- La investigación asume el tiempo de permanencia del poblador en un determinado lugar, ya sea una zona descubierta, como son los campos de cultivo, o en su vivienda.
- El volumen de aire incorporado por las personas adultas ha sido tomado en base al “hombre ideal” propuesto por el OIEA para situaciones de monitoreo de partículas radiactivas en aire, en el caso de niños y jóvenes se ha tomado como referencia literatura especializada.
- El bajo número de habitantes que componen el centro poblado Huarangal.
- Se ha estimado el riesgo de cáncer radioinducido tomando modelos matemáticos teóricos procedentes de otros estudios epidemiológicos dado que las bajas dosis que recibidas por la población requieren de periodos muy largos de estudio pudiendo requerirse hasta 70 años de exposición a esta fuente contaminante.

1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES

Concentración de I-131 en aire: Es la actividad derivada del radioisótopo I-131 determinada por el muestreo de aerosoles durante un periodo determinado de tiempo y el análisis instrumental por espectrometría gamma, se expresa en Bequerelios por metro cúbico de aire.

Descargas de I-131 al ambiente: Variable dependiente de la concentración de I-131 en aire, se estima la cantidad total del radioisótopo eliminado al ambiente mediante el empleo de modelos de dispersión atmosférica. Se expresa en Bequerelios totales.

Dosis individual acumulada: Es la cantidad de energía absorbida por una persona debido a su exposición al radioisótopo estudiado, se expresa en miliSievert (mSv).

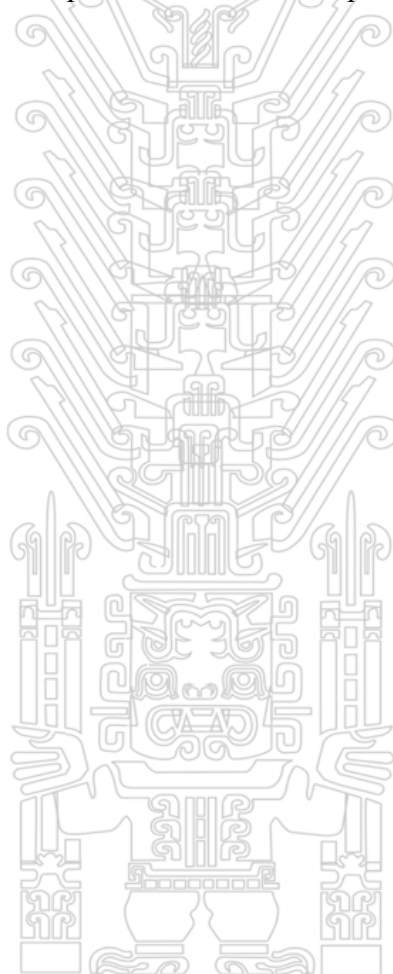
Dosis individual acumulada: Es la cantidad de energía absorbida por la población estudiada debido a su exposición al radioisótopo estudiado, se expresa en miliSievert-hombre (mSv-h).

Sexo: Los pobladores serán clasificados por su sexo biológico en masculino o femenino.

Rangos de edad: Con la finalidad de aplicar los factores dosimétricos establecidos por el OIEA, la población será clasificada en subgrupos de edad.

Ocupación: Los pobladores serán clasificados por las actividades que realiza de modo tal que se pueda estimar el tiempo de permanencia fuera y dentro de locales cerrados, con fines de estimación de dosis recibida por inhalación.

Impacto Radiosanitario: Es el producto final del estudio, luego de las evaluaciones correspondientes se definirá si el impacto en la salud es positivo, negativo o nulo para la población.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. TEORÍAS GENERALES

2.1.1. La Salud Rural en el Perú

El examen de los patrones de morbimortalidad muestra el claro predominio de las enfermedades transmisibles en los estratos rurales y de mayor pobreza. Existe una relación inversamente proporcional entre el nivel de concentración de la población y su estado de salud, es decir cuanto más concentrada esta la población sus niveles de salud son mayores y viceversa, cuanto más dispersa la población sus niveles de salud son peores, constituyendo poblaciones altamente vulnerable a enfermar y morir de enfermedades infecciosas: respiratorias agudas, enfermedades diarreicas agudas, tuberculosis o causas originadas en el período perinatal, o por complicaciones del embarazo, parto o puerperio, o enfermedades inmunoprevenibles, es decir infecto contagiosas y las complicaciones vinculadas al embarazo, parto y puerperio. Ello condiciona que aún se mantengan altas las tasas de mortalidad materna e infantil en las provincias donde se ubican estas poblaciones.

La tasa de mortalidad materna para estas poblaciones es aproximadamente de 190 x 10000 nacidos vivos, en algunas áreas de selva llega a ser de 600 x 10000 nacidos de vida y la Tasa de Mortalidad Perinatal es de 160 x 1 000 nacidos vivos. Esta situación se agudiza más aún

en las zonas rurales, donde según Vallenás (2009), se encuentra aproximadamente el 64% de la población en extrema pobreza (tres millones de habitantes), muchas de cuales tienen crecimientos poblacionales negativos. Se tiene catalogada como población dispersa a tres millones ciento sesenta y seis mil habitantes, ubicados en ocho mil quinientos sesenta y seis centros poblados, es decir poblaciones con un promedio de 360 habitantes.

A pesar de que el mejoramiento de la salud en nuestro país se ha incrementado gracias a la implementación de diferentes programas de construcción, saneamiento y educación, en donde muchos grupos de bajos recursos socioeconómicos han logrado mejorar sus indicadores de vida, todavía se puede observar que en las áreas rurales se mantienen vigentes las altas tasas de mortalidad en todos los niveles, especialmente en el grupo materno-infantil, debido principalmente a que estas poblaciones predominan el mayor grupo que se encuentra en pobreza extrema, falta de nivel cultural y carencia de servicios de salud y saneamiento.

2.1.2. El Cáncer en el Perú

Santisteban (2001) considera lo siguiente:

El cáncer es una importante y cada vez mayor causa de morbilidad y mortalidad en el mundo; diez millones de casos nuevos son detectados cada año, y 6 millones de personas mueren por la enfermedad. Ocupa el segundo lugar como causa de defunciones en los Estados Unidos de Norteamérica y el mundo desarrollado, y el tercero en el Perú desplazado del segundo lugar por las enfermedades infecciosas y cardiovasculares (p. 1).

Si bien la ocurrencia de cáncer es un evento probabilístico en donde intervienen factores genéticos, ciertos estilos de vida y factores ambientales considerados “factores de riesgo”, van a incrementar esta probabilidad de ocurrencia. Entre los principales factores de riesgo se tienen el consumo de alcohol y tabaco, dietas no equilibradas, exposición a carcinógenos como asbesto, infecciones virales, obesidad, sedentarismo y exposición a radiaciones ionizantes.

Todos estos factores de riesgo, según sea el caso, pueden tener un comportamiento aditivo o sinérgico. La combinación de las acciones de los factores externos de riesgo con la edad y el propio componente genético de cada persona contribuyen al factor de riesgo individual. Todo esto trae como consecuencia para nuestro país una incidencia acumulada de 157 casos por cien mil habitantes y un promedio de cuarenta y cinco mil nuevos casos de cáncer diagnosticados por año según fuentes del Ministerio de Salud (Poquioma, 2005).

2.1.3. Aplicaciones de las radiaciones ionizantes

Los radioisótopos se utilizan como fuentes de radiaciones ionizantes o como átomos marcados para experimentos con trazadores.

En la actualidad, los radioisótopos constituyen un conjunto de herramientas tecnológicas utilizadas por el investigador científico, y equipos tales como contadores de centelleo, contadores Geiger y escalímetros, forman ahora parte del escenario normal de laboratorio en

laboratorios universitarios, gubernamentales e industriales en casi todos los países. La variedad de radionúclidos coincide con la variedad de usos a los que se destinan al trabajo con trazadores.

Cuando se utilizan como fuentes de radiación, los radioisótopos se preparan generalmente en formas que se prestan a un manejo conveniente sin la oportunidad de contaminación ambiental en circunstancias normales. De este modo, el cobalto-60 en forma de fuente de rayos gamma se ha utilizado ampliamente para la irradiación de tejido canceroso y también como una fuente de radiación gamma para radiografía industrial.

Los radioisótopos como fuentes de rayos gamma también se utilizan para inducir cambios químicos y esterilizar alimentos, medicamentos y suministros médicos. Las fuentes de rayos gamma, en condiciones normales, no presentan un problema de contaminación ambiental, aunque es concebible que una fuente pueda quedar fuera de lugar o perdida y elevar el fondo de radiación gamma en su vecindad. Es bien sabido que el radio extraviado, en cantidades de miligramos, alguna vez se ha rastreado hasta en recipientes de basura, incineradores o vertederos de la ciudad. Los radioisótopos también se utilizan como fuentes de radiación interna en el tratamiento de ciertos tipos de cáncer. Por lo tanto, el yodo 131 en una dosis de aproximadamente 100 miliCuries se administra oralmente a pacientes que sufren de hipotiroidismo o cáncer de tiroides.

2.1.4. Dispersión de contaminantes atmosféricos

La liberación de contaminantes radiactivos en la atmósfera puede resultar en la inhabilitación del aire contaminado o, en condiciones extremas, en la exposición a la radiación gamma de una nube que pasa o de los radionucleidos depositados sobre las superficies. La atmósfera también puede servir como medio de transporte desde la fuente de contaminación hasta el suelo y el agua.

La atmósfera contiene aerosoles naturales y artificiales que provienen de muchas fuentes. Además de los contaminantes atmosféricos introducidos como resultado de las actividades humanas, los meteoritos, la actividad volcánica, las tormentas de polvo, los incendios forestales y la oración oceánica se combinan para aportar grandes cantidades de sólidos suspendidos.

Cuando se introduce un vapor de gas o aerosol en la atmósfera, se diluye por difusión molecular o turbulenta. En la práctica, generalmente se puede olvidar la contribución de la difusión molecular en la que los coeficientes de difusividad son varios órdenes de magnitudes menores que los debidos a la difusión turbulenta.

La radiactividad total de la atmósfera consiste en las radioactividades de sus componentes, tanto en los estados gaseoso como en el líquido, siendo esta última constituida por aerosoles atmosféricos de diferente dispersión.

Los radionucleidos separados en diferentes estados agregados de la materia interactúan de manera diferente con los objetos del mundo circundante y difieren de otros tanto en sus propiedades como en su comportamiento en la atmósfera. Puesto que una generalización de

las propiedades de los radionucleidos y su comportamiento en la atmósfera no puede dar una idea real de los radionucleidos separados, es necesario un cuidadoso estudio de los nucleídos específicos y de sus peculiaridades.

2.2. BASES TEÓRICAS ESPECIALIZADAS

Los isótopos de yodo pueden descargarse a la atmósfera como yodo molecular o como yoduros inorgánicos u orgánicos, dependiendo de su origen y de las condiciones que prevalecen en el sistema. El yodo molecular puede adsorberse en partículas submicrométricas durante o después de su descarga a la atmósfera.

Todas las formas están sujetas a dispersión en la atmósfera por procesos naturales de turbulencia, convección debida a la energía solar y otros calentamientos, movimiento por el viento, etc. Tras la dispersión y la deposición, respectivamente, el yodo radioactivo puede ser inhalado e ingerido por el público.

El camino crítico que implica la ingestión puede ser a través de la leche de vaca en las zonas productoras de leche en climas como el nuestro, o mediante el consumo de hortalizas en zonas en las que se consume poca leche. El camino crítico que implica la inhalación puede aplicarse en áreas desérticas y en otros sitios donde la agricultura no se practica extensamente. En este último caso, el grupo crítico puede ser un trabajador ocupacional en el lugar de trabajo.

En las zonas productoras de leche podría ser en el primer año de vida. Todas las dosis límite de radiación en el contexto del funcionamiento normal se expresan como límites anuales.

En el caso de descargas accidentales de yodo radioactivo, las incorporaciones y las dosis son de corta duración, en comparación con la escala de tiempo apropiada para las liberaciones controladas. El control de los peligros por inhalación e ingestión depende de la disponibilidad y aplicación de contramedidas.

Además de los efectos que se hacen evidentes inmediatamente después de una intensa irradiación, algunas de las consecuencias pueden no aparecer durante muchos años. Algunos de los efectos retardados resultan de una exposición aguda, mientras que otros son importantes cuando la dosis se administra en pequeñas exposiciones repetidas durante un largo período de tiempo. Estos efectos que se manifiestan en el individuo expuesto pueden ser referidos como efectos somáticos para diferenciarlos de los efectos genéticos que se observan en la descendencia de la persona expuesta.

La inhalación del aire que contiene un gas o polvo radioactivo resultará en la exposición del tracto respiratorio a la radiación ionizante. La alta incidencia de cáncer de pulmón, que se encontró por primera vez entre los mineros de Checoslovaquia, se ha atribuido a su exposición a la radiactividad atmosférica. Esta experiencia y la evidencia experimental de la capacidad de las sustancias radiactivas en el pulmón para causar cáncer han dado lugar a una considerable atención a los métodos de protección de los empleados expuestos a la contaminación atmosférica radiactiva.

Además, a veces es necesario tomar medidas para proteger al público (MEM, 1997), aunque la cantidad de radioactividad que se puede liberar con seguridad a la atmósfera general está en la mayoría de los casos limitada por los riesgos directos o indirectos a la radiactividad que se establece en la atmósfera, más que la fracción que permanece suspendida y que puede ser inhalada por los seres humanos.

La capacidad del pulmón para concentrar partículas aumenta los riesgos relativos de inhalación de sustancias radiactivas en forma de aerosoles en comparación con el riesgo de inhalar un gas radiactivo.

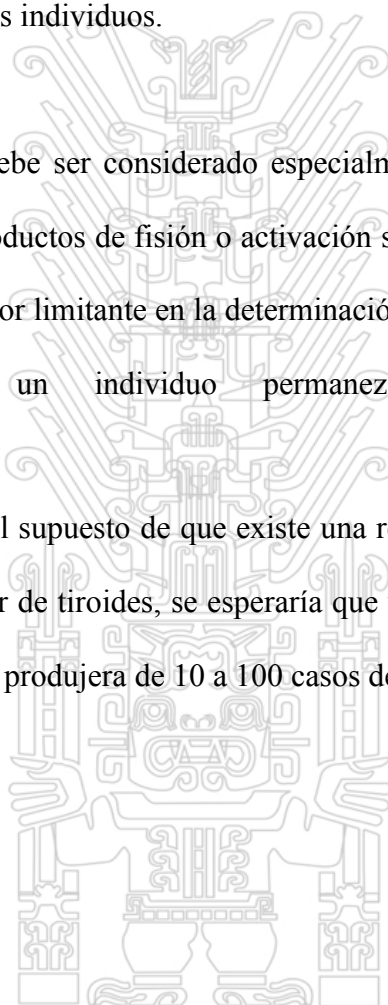
El tracto respiratorio está diseñado para transportar el aire hacia los alvéolos localizados profundamente en el pulmón donde se produce el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre la sangre y el aire. Gran parte del polvo contenido en el aire inhalado se elimina antes de que se alcancen los alvéolos, dependiendo la fracción exacta principalmente del tamaño y la densidad de las partículas.

La deposición dentro del tracto respiratorio ocurre por impacto inercial, sedimentación o movimiento browniano en el caso de partículas de menos de aproximadamente 0,1 micras de diámetro. Si el polvo es muy soluble, será rápidamente absorbido del tracto respiratorio en la sangre por medio del cual pasará a otros órganos del cuerpo. La exposición al polvo soluble no suele constituir un peligro para los pulmones.

La dosis recibida por las diferentes partes de los pulmones de un individuo inhalando polvo radiactivo depende por lo tanto de la concentración de radionúclido en el aire inhalado, de las propiedades físicas de los radionúclidos, de la velocidad de inhalación del polvo, de la región del pulmón En la que se deposita el polvo, y la velocidad a la que se retira. Estos últimos factores dependen del tamaño y densidad de las partículas, así como de factores fisiológicos que probablemente varían con los individuos.

La tiroides es un órgano que debe ser considerado especialmente debido a su tendencia a concentrar yodo. Cuando los productos de fisión o activación son liberados a la atmósfera, la dosis al tiroides puede ser el factor limitante en la determinación de la cantidad de tiempo que se puede permitir que un individuo permanezca en un área dada.

Lewis (1959) sugiere que bajo el supuesto de que existe una relación lineal entre la dosis de tiroides y la incidencia de cáncer de tiroides, se esperaría que una dosis de 1 rad entregada a la tiroides de un millón de bebés produjera de 10 a 100 casos de cáncer de tiroides durante los primeros 20 años de su vida.



2.4. MARCO CONCEPTUAL

Para el caso de actividades rutinarias, es importante que la exposición de la población sea tan baja como razonablemente sea posible y que se cumplan con las normativas nacionales establecidas por la Autoridad Reguladora.

Con respecto a la dispersión atmosférica de los materiales radiactivos, se debe realizar una descripción meteorológica de la región, incluso descripciones de parámetros meteorológicos básicos, orografía regional y fenómenos tales como velocidad y dirección del viento, temperatura del aire, precipitación, humedad, parámetros de estabilidad atmosférica e inversiones prolongadas.

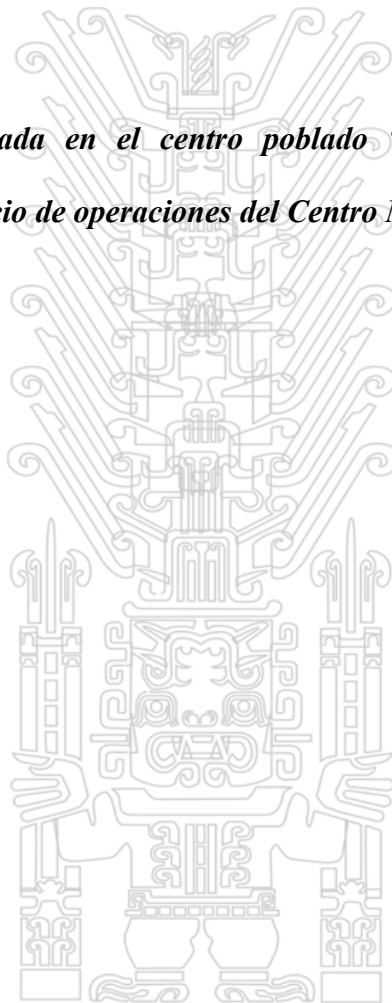
Además se debe elaborar un programa de mediciones meteorológicas, que se llevará a cabo en el emplazamiento o cerca de él con el uso de instrumentación capaz de medir y registrar los principales parámetros meteorológicos en elevaciones y lugares apropiados.

En función de los datos obtenidos de la investigación de la región, es factible evaluar la dispersión de los materiales radiactivos emitidos con el empleo de modelos apropiados que incluyen todos los elementos topográficos importantes específicos del emplazamiento y de la región, así como las características de la instalación que puedan incidir en la dispersión atmosférica.

2.4. HIPÓTESIS

La hipótesis de investigación seleccionada corresponde al tipo de hipótesis descriptiva, en donde se describe una situación relacional entre las variables que se someten al estudio (Córdoba, 2004). Por lo tanto, la hipótesis de la investigación se expresa de la siguiente manera:

La dosis poblacional acumulada en el centro poblado “Huarangal” se incrementa proporcionalmente desde el inicio de operaciones del Centro Nuclear “RACSO”



Capítulo III

MÉTODO

3.1. TIPO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio descriptivo de tipo ecológico en donde se describen las propiedades más importantes del problema con la finalidad de evaluar probables factores de riesgo (Szklo y Nieto, 2003). Este estudio consistió en la recopilación de datos poblacionales y ambientales en función del tiempo. De esta manera, con todos estos datos es posible correlacionar el impacto radiosanitario y ocurrencia de enfermedades que se puedan presentar en la población.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se utilizó el método longitudinal con la finalidad de investigar un mismo grupo de personas durante un periodo de tiempo.

3.3. ESTRATEGIA DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

La estrategia utilizada para verificar la hipótesis planteada consistió en la evaluación de los niveles de I-131 presentes en aire durante el periodo de estudio, la existencia de estos niveles significa que la población comprometida está recibiendo un impacto radiológico expresado en un incremento de dosis debida a incorporación de este radionucleído en su organismo.

3.4. VARIABLES

3.4.1. Identificación de variables

Las unidades de análisis consideradas en la investigación son los niveles de radiactividad en aire y los habitantes del centro poblado Huarangal. Los atributos o características de las unidades de análisis que serán sometidas a medición se clasifican de la siguiente manera:

Variables	Tipo	Detalle	
Independientes	Continuas	Concentración de I-131 en aire	
	Categóricas	Dicotómicas	Sexo
		Policotómicas	Edad, ocupación
Dependientes	Continuas	Descargas de I-131 al ambiente	
		Dosis individual acumulada	
		Dosis poblacional acumulada	
	Categóricas	Dicotómicas	Impacto radiosanitario

3.5. POBLACIÓN

La población objeto de estudio comprende a todos los habitantes del centro poblado Huarangal, ubicado en el Distrito de Carabayllo, el total de la población es de aproximadamente 200 habitantes al inicio del estudio.

3.6. MUESTRA

Para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente ecuación (Moore, 2000):

$$n = \frac{S^2}{\frac{e^2}{Z_{\alpha/2}^2} + \frac{S^2}{N-1}}$$

Donde:

- n = Tamaño de la muestra.
- N = Tamaño de la población.
- S² = Varianza de la población que, debido al pequeño tamaño de la población, será igual a 1.
- Z_{α/2} = Valor obtenido mediante niveles de confianza en relación al 95% de confianza equivalente a 1,96
- e = Límite aceptable de error muestral que, valor que queda a criterio del encuestador.

Así, en base a la población estudiada, el tamaño de la muestra queda definido como sigue:

$$n = \frac{1^2}{\frac{0,1^2}{1,96^2} + \frac{1^2}{200-1}} = 131 \text{ habitantes}$$

En total se evaluó el impacto en la salud debido al incremento de dosis en 131 habitantes del centro poblado de Huarangal.

3.7. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.7.1. Instrumentos de recolección de datos

Muestreador de aerosoles: Para llevar a cabo el monitoreo de las descargas al ambiente por parte de las instalaciones radiactivas del centro nuclear, se realizaron colectas de aire con un muestreador de aerosoles marca Merlin-Gerín, modelo APA 300, con un flujo de aspiración promedio de $3,32 \pm 0,04$ metros cúbicos por hora. Este equipo de muestreo se ubicó a una distancia de 20 metros en dirección norte de la chimenea de la PPR (Figura N° 1), como colectores de partículas de polvo en aire se utilizaron filtros de planos de acetato de celulosa y para coleccionar los radioyodos en aire se utilizaron cartuchos con carbón activado MG modelo 8507 ref. 12217, con eficiencia de retención de yodo en aerosoles del $85\% \pm 5\%$ según datos del fabricante.

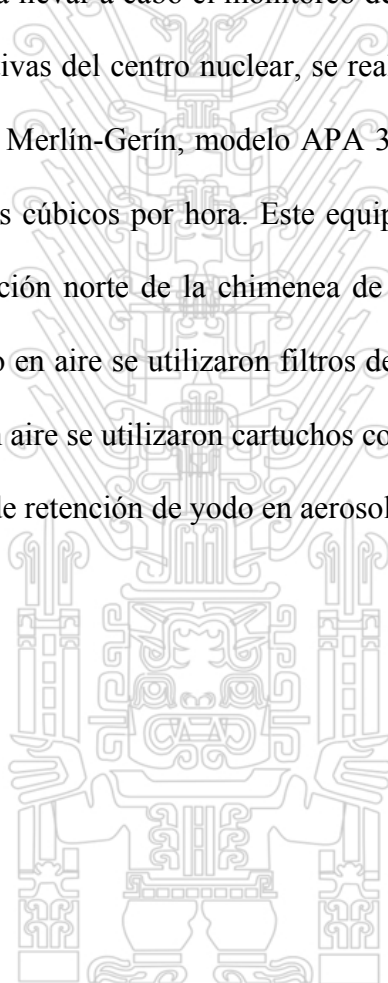




Figura N° 1. Chimenea de la PPR

Sistema de espectrometría gamma: El material colectado fue analizado por instrumentación nuclear, utilizando un sistema de espectroscopia gamma de alta resolución compuesto por un detector semiconductor de germanio hiperpuro marca Canberra, modelo 7229P, ubicado en el interior de un blindaje de plomo de cinco centímetros de espesor y revestido internamente de bronce y cadmio. Este detector está conectado a una cadena electrónica que amplifica los pulsos nucleares y se procesan en una tarjeta electrónica multicanal asociada a una computadora compatible.



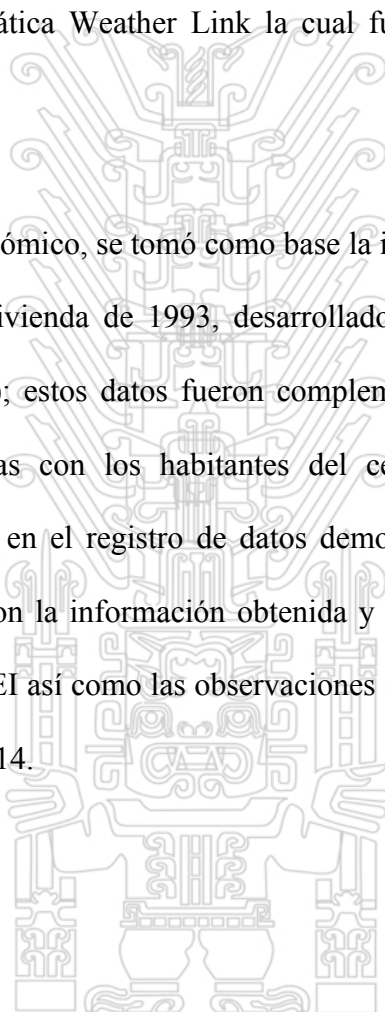
Figura N° 2. Sistema de Espectrometría Gamma

Información básica relevante: Para los alcances de esta tesis, la información básica relevante describe el estado inicial del medio ambiente en un área específica como es la zona de influencia del centro nuclear RACSO. Esta información incluye a los componentes ambientales que podrían ser afectados por las instalaciones del centro nuclear y que podrían influir sobre la salud y el ambiente. Los principales temas incluidos en esta información se enmarcan en los siguientes medios:

- *Medio Físico:* Aire, suelo, agua, paisajes, variables meteorológicas.
- *Medio Biótico:* Flora y Fauna.
- *Medio Socioeconómico:* Características sociodemográficas y de vivienda, usos del territorio, aspectos culturales, infraestructura.

La información relevante del medio físico y biótico se tomó de los estudios realizados durante la etapa pre-operacional del proyecto en la zona de emplazamiento del Centro Nuclear de Investigaciones del Perú (IPEN-CNEA, 1981) y de las observaciones in situ realizadas en la zona. La información meteorológica sobre velocidad y dirección de vientos fue colectada a partir de las planillas de la Estación Meteorológica de Huarangal y de los registros de la Estación Automática Weather Link la cual fue instalada en 1999 (Osore, 2006).

Con respecto al medio socioeconómico, se tomó como base la información proporcionada por el IX Censo de Población y Vivienda de 1993, desarrollado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI); estos datos fueron complementados por observaciones in situ y entrevistas personalizadas con los habitantes del centro poblado Huarangal. La información colectada consistió en el registro de datos demográficos, de salud, educativo, laboral, social y de vivienda. Con la información obtenida y utilizando las estimaciones de crecimiento demográfico del INEI así como las observaciones in situ, se elaboraron las tablas demográficas del año 1990 al 2014.



3.7.2. Procesamiento y análisis de datos

Tabulación de datos: Los datos obtenidos fueron tabulados utilizando hojas electrónicas de cálculo Excel; los datos de la concentración de radiactividad en aire fueron agrupados en series de tiempo mensuales. Los datos sobre la edad de la población estudiada se agruparon según los modelos del OIEA para su evaluación y estimación de dosis. Los datos referentes a la información básica relevante fueron tabulados en función de sus características para luego ser procesados en los estudios de impacto ambiental y elaboración de modelos epidemiológicos (Consejo de Seguridad Nuclear – CSN, 2009).

Concentración de I-131 en aire: La concentración de actividad de I-131 se expresa en Bequerelios por metro cúbico de aire, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$AES = \frac{\frac{CTM}{TCM} - \frac{CTF}{TCF}}{EF \times EG \times DEC \times W}$$

Donde:

- AES = Actividad específica del radionucleído que se investiga en la muestra colectada, expresada en Bq/m³.
- CTM = Cuentas totales de la muestra colectada.
- TCM = Tiempo de recuento de la muestra colectada expresado en segundos.
- CTF = Cuentas totales del fondo instrumental.
- TCF = Tiempo de recuento del fondo instrumental expresado en segundos.
- EFI = Eficiencia instrumental del radionucleído investigado (Bq⁻¹)
- EG = Probabilidad de emisión gamma del radionucleído investigado, para el caso del I-131, su probabilidad de emisión gamma es 0,816.
- DEC = Decaimiento del radionucleído desde la fecha de colecta de la muestra hasta la fecha del ensayo analítico, se calcula de acuerdo a la fórmula:

$e^{(TT.\lambda)}$. Donde TT es el tiempo transcurrido desde la fecha de colecta

hasta la fecha de ensayo en días y λ es la constante de decaimiento

(días⁻¹) que para el caso del I-131 es 0,086398.

W = Volumen colectado en la muestra, expresado en metros cúbicos.

El tiempo promedio de lectura instrumental fue de 4000 segundos para cada cartucho de carbón activado colectado, dado que este tiempo de lectura es menor al 1% del tiempo de vida media del I-131 (8,021 días equivale a 693014 segundos) no es necesario realizar los ajustes por decaimiento radiactivo.

Evaluación ambiental: Una vez determinada la concentración de I-131 presente en aire por efecto de las descargas de las chimeneas del Centro Nuclear, es necesario conocer las características del medio ambiente en donde se dispersará el contaminante radiactivo. En este sentido, con la información básica relevante respecto a los medios físicos y bióticos, se procedió a elaborar una tabla de evaluación ambiental orientada a identificar las principales vías de distribución de este radionucleído en el ecosistema estudiado hasta el centro poblado que estaría más afectado por estas descargas. Considerando a las descargas atmosféricas como las principales fuentes de contaminación por parte del Centro Nuclear, se llevó a cabo la evaluación de la dispersión local utilizando el modelo gaussiano, tal como propone el OIEA (1986). Este modelo considera que la superficie terrestre es homogénea, que tanto el viento como la intensidad de la turbulencia no varían con el tiempo y que este radionucleído no sufre transformaciones químicas ni se deposita sobre el terreno.

Dosis individual: Es la medida de la radiación que recibe o absorbe cada persona y para efectos del presente estudio se estimó a partir de los niveles de I-131 en aire mediante la siguiente fórmula:

H

$$DI = A_a \times T_r \times T_e \times F_c$$

Donde:

- DI = Dosis individual expresada en Sievert (Sv).
A_A = Actividad de I-131 presente en aire (Bequerelios/m³).
T_R = Tasa de respiración de la persona por grupo ocupacional o de edad (m³/día).
T_E = Tiempo de exposición de la persona expresado en fracción de día de acuerdo a sus actividades rutinarias (campo o casa).
F_C = Factor de conversión de dosis por inhalación de I-131, según tablas del OIEA.

Dosis efectiva colectiva: Es la dosis efectiva total de una población, fue calculada a partir de los datos de dosis individual para cada subgrupo mediante la siguiente fórmula:

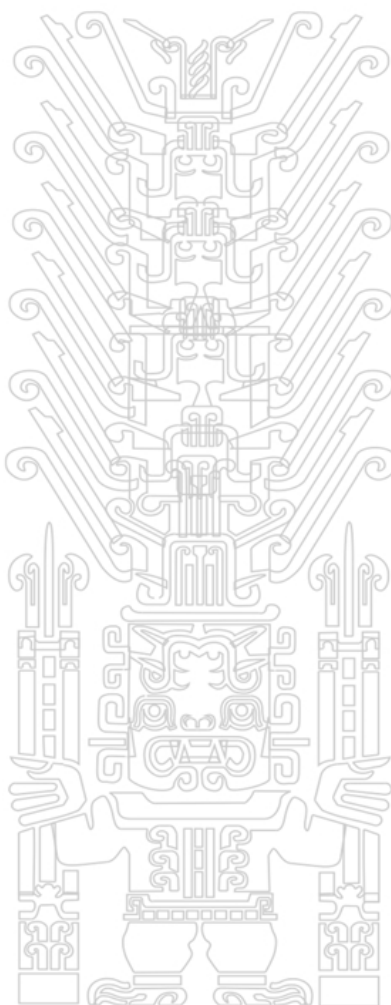
$$DC = DI \times GP$$

Donde:

- DI = Dosis individual expresada en Sievert (Sv).
DC = Dosis colectiva expresada en Sievert-hombre para cada grupo de edad.
GP = Número de personas que componen el grupo poblacional estudiado.

Estimación del impacto radioepidemiológico: Con la aplicación del modelo de dispersión atmosférica, y con los datos obtenidos del sistema de muestreo de aire, se estimaron las descargas por parte de las instalaciones, del I-131 al ambiente así como su concentración en el centro poblado de Huarangal, ubicado en dirección de los vientos predominantes. La

información obtenida fue correlacionada con los datos demográficos de este centro poblado a fin de estimar el impacto radiológico durante el tiempo de operación del Centro Nuclear mediante el cálculo de las dosis individuales y colectivas acumuladas con la finalidad de evaluar la conveniencia de realizar medidas de mitigación debido a los efectos de las radiaciones ionizantes en esta población.



CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Dado que la hipótesis de la investigación indica que la población de Huarangal recibirá un incremento de dosis debido a las actividades del Centro Nuclear “RACSO”, ésta se contrasta con los resultados obtenidos de la dosis individual y colectiva del centro poblado durante el período de duración del estudio.

4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

4.2.1. Características naturales de la zona

La zona del Centro Nuclear RACSO presenta una superficie aproximada de 125 hectáreas se encuentra ubicado en la llanura de un valle de orientación Nor-Este a Sur-Oeste; muy próximo a dos quebradas, una en dirección Norte y la otra Nor-Oeste. La base del valle tiene unos 10 Km. de ancho y presenta un declive del 5% en dirección Sur-Oeste.

El lugar del emplazamiento está rodeado de colinas de hasta 1500 metros de altura, excepto en la dirección Este, que corresponde a la zona agrícola del valle del río Chillón, ubicada a 15 km. de distancia (Figura N° 3).



Figura N° 3. Lugar de emplazamiento del Centro Nuclear “RACSO”

El suelo del lugar es arenoso y pedregoso, cubierto por una vegetación rala del tipo tillandsial. El tramo más importante en el cauce del río Chillón que debe ser monitoreado tiene una longitud aproximada de 18 Km. Esta parte del río está comprendida dentro del área de posibles impactos directos sobre los recursos de flora y fauna propios del río.

Los árboles son prácticamente inexistentes, excepto algunos ejemplares de sauce y huarango, los arbustos están representados por dos especies predominantes que son *Tessariaintegrifolia* “pájaro bobo”, especie americana que ocupa las áreas más húmedas y *Baccharislanceolata* “chilco”, también especie americana que en las áreas secas e islotes puede predominar sobre la primera.

Estas especies son refugio de diversas aves; como recurso natural se emplea el pájaro bobo

para construcciones rústicas y el chilco como leña (IPEN-CNEA, 1981). En los últimos diez
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

años se ha verificado la sistemática eliminación de estas especies debido a que los agricultores de la zona han expandido sus áreas de cultivo, por lo que muchas de las especies de flora y fauna identificadas a inicios de este estudio ya no se encuentran en la región.

Entre las herbáceas más destacadas se tienen el *Poligonum aviculare* “pimienta de agua”, *Rumex crispus* “lengua de vaca”, *Nasturium officinalis* “berro”, *Hydrocotyle vulgaris* “sombbrero de abad” entre otras. Esta vegetación herbácea se encuentra dispersa a lo largo del cauce y no se ha determinado sus consumidores permanentes, siendo pasto frecuente de vacunos y caprinos que pastorean el área en época de estiaje.

La relación entre estos productores primarios con la fauna terrestre y acuática es través de aves e insectos, los primeros con el consumo de semillas y los otros directamente con el follaje. La fauna presente en la zona es escasa, se observaron insectos como avispas, libélulas y coleópteros.

El área puede ser considerada como un ecosistema fuertemente intervenido o disturbado con respecto a su estado natural. Sus componentes son variados y variables tanto en cantidad como en calidad; así, las aguas por su forma y aprovechamiento y por su irregularidad de su volumen determinan hábitats con diferentes características físicas.

Respecto al componente climatológico, la región de Huarangal se encuentra ubicada dentro de la faja costera desértica denominada también “zona de Lomas” la cual depende de tres aspectos:

- La orientación del litoral y del Valle.
- El efecto de la barrera presentada por los Andes.
- La presencia del Anticiclón del Pacífico Sur.

La parte oriental de este Anticiclón se caracteriza por una inversión térmica, donde los vientos alisios del SE, se divergen en las capas bajas, asociados con la subsidencia en las capas altas de la troposfera media. La capa de inversión térmica, limita cualquier movimiento vertical permitiendo así la formación de nubes en niveles por debajo de la base de inversión. En invierno, la inversión térmica es intensa, mientras que en verano su intensidad disminuye debido a que el anticiclón se desplaza hacia el Sur, debilitándose los alisios del Sur-Este.

Huarangal posee bastante humedad que está concentrada en las primeras capas adyacentes al suelo, originando nubes estratiformes que cubren toda la zona, especialmente en invierno, mientras que en verano se cuenta con cielos claros y alguna presencia de pequeños cúmulos. Teniendo en cuenta el tipo de nubosidad dominante en Huarangal, la precipitación que se observa es del tipo lloviznas que ocurren esporádicamente en invierno, por lo que cuando se toman los promedios mensuales multianuales se considera el mencionado lugar como zona desértica.

A pesar de la cercanía de Huarangal al océano (20 Km.), por las características topográficas que presenta el lugar de emplazamiento, éste no es afectado por los cambios de circulación debido a brisas de mar y tierra.



Figura N° 4. Estación meteorológica

Las variables meteorológicas, colectadas por la estación meteorológica durante el periodo de estudio, presentan las siguientes características: respecto al viento, se observa que los sectores SO, SSO y S totalizan un porcentaje importante de los casos, lo cual define un cuadrante dominante hacia el NE. La persistencia del viento en el resto de los sectores es despreciable frente a la persistencia de los tres anteriores. Si bien la calma y la variabilidad tienen un porcentaje importante, su presencia máxima media no supera las 4 horas (Figura N° 5).

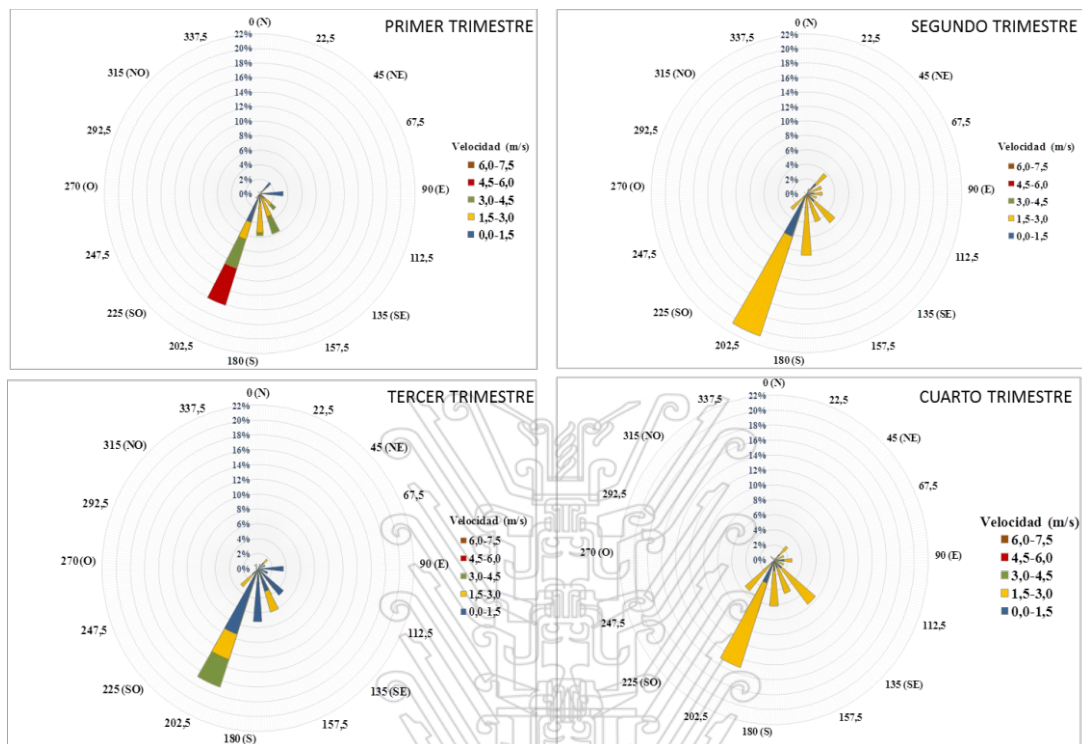


Figura N° 5. Rosa de vientos – Período 1999 - 2014

La rosa de vientos elaborada con los registros meteorológicos mostró que las mayores velocidades del viento se presentan en el primer y tercer trimestre de cada año y que en más del 90% de los registros la dirección del viento se mantiene en Sur-Sur-Oeste (SSO) y en menor grado las direcciones S y SSE.

La temperatura promedio anual fue de 20,2 °C; la temperatura promedio osciló entre 12,0 °C y 28,0 °C o sea una amplitud media anual de casi 16,0 °C (Figura N° 6).

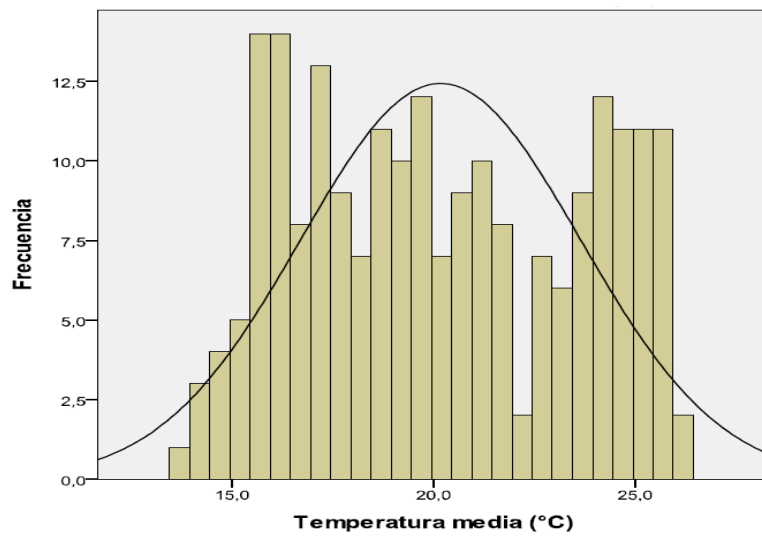


Figura N° 6. Temperatura media anual

La humedad relativa alcanza valores muy altos siendo su promedio mensual siempre superior al 75%. Si bien en el lugar es típica la presencia de nubes estratiformes a baja altura las cuales dan lugar a precipitación, estando constituida por gotas pequeñas y en poca cantidad que no superan la sensibilidad del pluviógrafo (Figura N° 7).

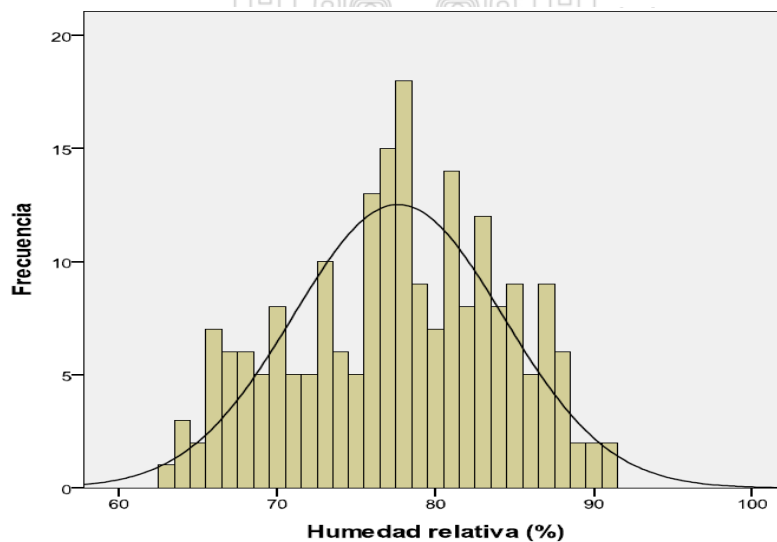


Figura N° 7. Humedad relativa anual

En cuanto al río Chillón, que es el recurso hidrológico más importante de la zona, se origina en la laguna de Chonta, a 4440 msnm, tiene una cuenca de 2350 km², con una pendiente que varía del 6% al 2%. En su recorrido recibe aportes de ocho pequeños ríos en su margen derecha y dos en su margen izquierda. Así mismo, en la cuenca se encuentra hasta 3 lagunas de importancia cuya capacidad de almacenamiento varía entre tres y nueve millones de metros cúbicos.

La actividad predominante en el valle del río Chillón es la agricultura, con 11000 hectáreas las cuales utilizan mayormente el agua superficial. En el caso del Centro Nuclear RACSO, se usa el agua subterránea para uso doméstico e industrial.

El acuífero existente en el valle del río Chillón es de tipo libre y está contenida en depósitos aluviales. El sentido del flujo subterráneo es de NE a SO, con una gradiente que varía de 1,2% a 2,0%.

4.2.2. Características sociales y económicas

Este centro poblado (Figura N° 8) cuenta en su mayoría con casas de adobe que datan de los años 1950, existen además algunas casas construidas de material noble que presentan serios problemas estructurales debido a que su edificación se realizó de manera artesanal. No cuenta con sistema de agua potable ni alcantarillado su fuente de agua proviene de un reservorio local que almacena agua de un puquial cercano, las aguas utilizadas para riego se distribuyen por acequias y provienen de un ramal del río Chillón (Figura N° 9).



Figura N° 8. Ubicación del Centro Poblado Huarangal



Figura N° 9. Centro Poblado "Huarangal"

La energía eléctrica fue instalada el 18 de noviembre del año 2012. El sistema de telefonía y televisión por cable con que cuentan algunas casas se debe a la instalación de una torre de transmisión instalada por una empresa operadora. Este centro poblado, conocido como Unidad

Agropecuaria Huarangal, fue una hacienda privada dedicada a la agricultura tradicional hasta

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

el año 1969, cuando se promulgó la Ley de Reforma Agraria N° 17716, cambiándose de propiedad privada a cooperativa agraria de producción.

Tabla N° 1. Número de habitantes del centro poblado Huarangal

Año	< 2 años	2 a 7 años	7 a 12 años	12 a 17 años	> 17 años	Total
1990	18	38	35	29	108	228
1991	18	39	35	30	108	230
1992	19	40	36	30	109	234
1993	19	40	36	30	109	234
1994	19	40	36	30	110	235
1995	19	40	36	30	110	236
1996	19	41	37	30	111	238
1997	19	41	37	31	111	239
1998	19	41	37	31	112	240
1999	20	41	37	31	112	241
2000	20	41	37	31	113	242
2001	20	42	37	31	113	243
2002	20	42	38	31	114	245
2003	20	42	38	32	114	246
2004	20	42	38	32	115	247
2005	20	42	38	32	116	248
2006	20	43	38	32	116	249
2007	20	43	39	32	117	250
2008	20	43	39	32	117	252
2009	21	43	39	32	118	253
2010	21	43	39	33	118	254
2011	21	44	39	33	119	255
2012	21	44	39	33	119	256
2013	21	44	40	33	120	257
2014	21	44	40	33	120	259

La tabla N° 1 muestra la evolución de la densidad poblacional de este centro poblado. En la actualidad tiene una población de 259 personas de bajos recursos económicos. Las familias están compuestas por cinco personas como promedio, en el caso de las mujeres 32% son jóvenes (18 a 29 años), 30% son adultas (29 a 60 años) y 27,5% son niñas (0 a 8 años). En el caso de los hombres, 44,0% son adultos, 29,6% son niños y 18,5% son jóvenes.

Actualmente habitan en este poblado trabajadores en su mayoría eventuales, hombres y mujeres, cuyos ingresos son menores al mínimo vital y sin beneficios sociales. Algunos habitantes han migrado temporalmente a las localidades de San Pedro de Carabayllo y Puente Piedra en donde ejercen una determinada actividad económica durante la semana, retornando a Huarangal los fines de semana.



Figura N° 10. Poblador de Huarangal

Los habitantes de este centro poblado no cuentan con una posta médica y su educación es limitada habida cuenta de que solo existe un colegio (IIEE 8189) con 24 alumnos de diferentes grados de educación en un mismo ambiente. La población escolar perteneciente a los poblados próximos al emplazamiento es relativamente baja. En la generalidad de los casos se imparte educación inicial y primaria (Figura N° 11).



Figura N° 11. Centro Educativo de Huarangal

Carecen de medios de transporte urbano, por lo que se movilizan a través de servicios de taxi, camionetas rurales o camiones. La población en general tiene secundaria completa. Los de primaria completa y secundaria incompleta optan por realizar labores agrícolas; los que tienen formación técnica o educación superior laboran en la zona urbana de Lima Metropolitana, principalmente en el Distrito de Puente Piedra. La población labora en su mayoría en agricultura, que por ser una actividad que no requiere mayor preparación académica, sus conocimientos son prácticos.

4.2.3. Características de salud pública

Durante el periodo de estudio, se observó un predominio de afecciones al sistema respiratorio como faringitis, rino-faringitis, bronquitis y amigdalitis, con una mayor predominancia en los meses de invierno, principalmente en niños y adolescentes.

En los adultos y adultos mayores predominan las afecciones al aparato locomotor como dolores lumbares y tendinitis. En tercer lugar se encuentran las enfermedades infecciosas y parasitarias.

Durante las campañas de evaluación, no se identificaron casos de cáncer o displasia de tiroides, respuesta principal a la exposición con I-131, ni otro tipo de cáncer reportado.

Entre los habitantes de este centro poblado, se verificó que los 75% de hombres y mujeres, comprendidos entre los 0 y 29 años, cuentan con un seguro básico de salud, mientras que solo el 30% de los adultos mayores de 30 años cuenta con algún tipo de seguro.

Dado que no cuentan con una posta médica, los pobladores suelen atenderse en dos puestos de salud, el Puesto de Salud de Chocas y el de San Pedro de Carabayllo. En algunos años, este poblado fue beneficiado por visitas semanales de voluntarios médicos quienes ofrecían controles médicos y medicamentos básicos. En algunas ocasiones, algunos pobladores han solicitado el apoyo del servicio médico del Centro Nuclear RACSO.

4.2.4. Descargas de I-131 al medio ambiente

En un primer paso para estimar el impacto radiológico asociado al funcionamiento de las instalaciones objeto del estudio ha sido necesario considerar las actividades emitidas al exterior por los efluentes gaseosos desde el comienzo de su funcionamiento hasta el año 2014.

Para monitorear las emisiones de I-131 en aire, se instaló un equipo de muestreo ambiental con la finalidad de captar este radioisótopo en filtros de carbón activado, los cuales, luego de un periodo determinado de monitoreo, fueron evaluados en un sistema de espectrometría gamma para determinar la concentración por unidad de volumen de aire.



Figura N° 12. Estación de monitorización de aire

Tabla N° 2. Concentración de I-131 en aire (Bq/m³)

Año	Meses Calendario												Promedio
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
1990	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04
1991	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04
1992	1,00E-04	1,12E+00	1,00E-04	1,00E-04	3,64E-02	7,61E-02	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,03E-01
1993	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	2,25E-02	1,17E-01	2,95E-02	2,95E-02	2,49E-02	6,50E-03	6,50E-03	1,97E-02
1994	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,40E-02	6,50E-02	2,20E-01	1,10E-01	2,70E-01	1,30E-01	4,20E-01	2,30E-01	9,20E-02	1,29E-01
1995	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	8,60E-02	2,20E-01	1,90E-02	1,50E-02	6,40E-02	2,70E-01	4,40E-01	3,30E-01	1,20E-01
1996	6,40E-03	2,60E-02	3,50E+00	8,30E-03	9,00E-03	2,10E-02	1,10E-01	9,70E-02	6,10E-02	1,20E-02	1,10E-02	2,80E+00	5,55E-01
1997	4,20E-02	8,10E-01	1,00E-04	7,00E-01	2,50E-02	8,20E-02	6,20E-01	2,70E-02	4,20E-02	3,30E-02	1,00E-04	1,10E-02	1,99E-01
1998	3,18E-02	3,26E-02	1,78E-01	1,81E-01	5,30E-01	1,69E-01	8,40E-01	7,68E-02	5,40E-01	3,14E-02	2,60E-02	1,10E-01	2,29E-01
1999	5,95E-02	4,20E-02	4,25E-02	5,36E+00	1,51E+00	6,20E+00	8,77E-01	6,61E-02	1,23E+01	1,12E-01	2,14E-02	6,05E-02	2,22E+00
2000	8,00E-03	8,90E-03	3,35E-02	5,35E-01	1,43E-01	3,88E+00	2,90E+00	1,27E+00	1,23E+01	1,12E-01	1,23E+01	1,97E-02	2,79E+00
2001	3,53E-02	2,23E-01	6,35E-02	1,69E+00	5,52E-01	2,58E+00	1,31E+00	3,60E-01	6,30E+00	7,21E-02	3,09E+00	5,03E-02	1,36E+00
2002	2,58E-02	1,28E-01	3,53E-02	8,63E-01	3,65E-01	1,32E+00	6,59E-01	2,10E-01	3,17E+00	5,73E-02	1,56E+00	4,62E-02	7,03E-01
2003	2,15E-02	1,69E-01	4,78E+00	5,54E+00	6,42E-01	8,40E-01	7,68E-02	5,40E-01	3,14E-02	6,61E-02	2,14E-02	2,90E+00	1,30E+00
2004	2,75E-02	1,32E-01	1,23E+00	2,16E+00	8,90E-03	3,35E-02	7,36E-01	7,50E-01	3,20E+00	1,23E-01	1,58E+00	2,95E+00	1,08E+00
2005	8,20E-01	1,36E+00	3,39E+00	2,17E+00	4,24E-02	7,69E-01	1,49E+00	3,95E+00	3,33E+00	1,70E+00	4,53E+00	4,02E+00	2,30E+00
2006	5,76E-02	4,75E+00	5,55E+00	2,21E+00	8,12E-01	2,26E+00	5,44E+00	7,28E+00	5,03E+00	6,23E+00	8,55E+00	6,32E+00	4,54E+00
2007	1,79E-01	3,43E+00	2,59E+00	1,01E+00	1,02E+00	2,56E+00	4,24E+00	4,10E+00	3,75E+00	4,93E+00	4,96E+00	3,62E+00	3,03E+00
2008	1,62E-02	3,18E-02	7,00E-03	3,26E-02	1,78E-01	5,67E-02	9,00E-03	5,95E-02	4,20E-02	4,25E-02	2,70E-02	4,20E-02	4,53E-02
2009	1,64E-01	1,43E+00	2,51E+00	2,00E+00	4,39E-01	1,12E+00	1,81E+00	2,41E+00	2,65E+00	1,88E+00	3,03E+00	2,84E+00	1,86E+00
2010	1,84E-01	1,61E+00	2,87E+00	2,16E+00	4,49E-01	1,09E+00	1,97E+00	2,73E+00	2,58E+00	2,14E+00	3,24E+00	3,24E+00	2,02E+00
2011	2,07E-01	1,82E+00	2,59E+00	1,68E+00	4,22E-01	1,13E+00	2,24E+00	3,04E+00	2,94E+00	2,43E+00	3,70E+00	3,29E+00	2,12E+00
2012	2,32E-01	2,06E+00	2,79E+00	1,61E+00	4,81E-01	1,28E+00	2,46E+00	3,37E+00	2,90E+00	2,76E+00	4,00E+00	3,34E+00	2,27E+00
2013	1,48E-01	2,16E+00	2,70E+00	1,53E+00	5,43E-01	1,36E+00	2,59E+00	3,28E+00	2,84E+00	2,92E+00	3,93E+00	3,24E+00	2,27E+00
2014	1,61E-01	1,79E+00	2,29E+00	1,43E+00	5,05E-01	1,23E+00	2,19E+00	2,71E+00	2,53E+00	2,44E+00	3,27E+00	2,80E+00	1,95E+00

La Tabla N° 2 muestra la concentración promedio de I-131 en aire expresada en becquerels por metro cúbico, dentro del período 1990 – 2014, se puede observar el incremento de los niveles de radiactividad con el transcurso del tiempo.



Tabla N° 3. Descargas de I-131 en la chimenea de la Planta de Producción de Radioisótopos (becquerels/segundo)

Año	Meses Calendario												Promedio	
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		
1990	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00
1991	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00
1992	1,57E+00	1,76E+04	1,57E+00	1,57E+00	5,72E+02	1,20E+03	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,62E+03
1993	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	3,54E+02	1,84E+03	4,64E+02	4,64E+02	3,92E+02	1,02E+02	1,02E+02	1,02E+02	3,10E+02
1994	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	2,20E+02	1,02E+03	3,46E+03	1,73E+03	4,25E+03	2,04E+03	6,60E+03	3,62E+03	1,45E+03	2,03E+03	
1995	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,57E+00	1,35E+03	3,46E+03	2,99E+02	2,36E+02	1,01E+03	4,25E+03	6,92E+03	5,19E+03	1,89E+03	
1996	1,01E+02	4,09E+02	5,50E+04	1,31E+02	1,42E+02	3,30E+02	1,73E+03	1,53E+03	9,59E+02	1,89E+02	1,73E+02	4,40E+04	8,73E+03	
1997	6,60E+02	1,27E+04	1,57E+00	1,10E+04	3,93E+02	1,29E+03	9,75E+03	4,25E+02	6,60E+02	5,19E+02	1,57E+00	1,73E+02	3,13E+03	
1998	5,00E+02	5,13E+02	2,80E+03	2,85E+03	8,33E+03	2,66E+03	1,32E+04	1,21E+03	8,49E+03	4,94E+02	4,09E+02	1,73E+03	3,60E+03	
1999	9,36E+02	6,60E+02	6,68E+02	8,43E+04	2,37E+04	9,75E+04	1,38E+04	1,04E+03	1,94E+05	1,76E+03	3,36E+02	9,51E+02	3,49E+04	
2000	1,26E+02	1,40E+02	5,27E+02	8,41E+03	2,25E+03	6,10E+04	4,56E+04	2,00E+04	1,94E+05	1,76E+03	1,94E+05	3,10E+02	4,39E+04	
2001	5,55E+02	3,51E+03	9,99E+02	2,66E+04	8,68E+03	4,06E+04	2,06E+04	5,66E+03	9,91E+04	1,13E+03	4,86E+04	7,91E+02	2,14E+04	
2002	4,05E+02	2,01E+03	5,54E+02	1,36E+04	5,74E+03	2,08E+04	1,04E+04	3,30E+03	4,99E+04	9,01E+02	2,45E+04	7,26E+02	1,11E+04	
2003	3,38E+02	2,65E+03	7,52E+04	8,71E+04	1,01E+04	1,32E+04	1,21E+03	8,49E+03	4,94E+02	1,04E+03	3,36E+02	4,56E+04	2,05E+04	
2004	4,33E+02	2,08E+03	1,93E+04	3,39E+04	1,40E+02	5,27E+02	1,16E+04	1,18E+04	5,04E+04	1,94E+03	2,48E+04	4,63E+04	1,69E+04	
2005	1,29E+04	2,14E+04	5,33E+04	3,41E+04	6,67E+02	1,21E+04	2,34E+04	6,21E+04	5,23E+04	2,68E+04	7,12E+04	6,33E+04	3,61E+04	
2006	9,06E+02	7,47E+04	8,73E+04	3,47E+04	1,28E+04	3,55E+04	8,55E+04	1,14E+05	7,91E+04	9,79E+04	1,34E+05	9,94E+04	7,14E+04	
2007	2,81E+03	5,40E+04	4,07E+04	1,58E+04	1,61E+04	4,03E+04	6,67E+04	6,45E+04	5,90E+04	7,75E+04	7,79E+04	5,69E+04	4,77E+04	
2008	2,55E+02	5,00E+02	1,10E+02	5,13E+02	2,80E+03	8,92E+02	1,42E+02	9,36E+02	6,60E+02	6,68E+02	4,25E+02	6,60E+02	7,13E+02	
2009	2,58E+03	2,25E+04	3,95E+04	3,14E+04	6,90E+03	1,76E+04	2,84E+04	3,79E+04	4,17E+04	2,95E+04	4,77E+04	4,47E+04	2,92E+04	
2010	2,89E+03	2,54E+04	4,51E+04	3,39E+04	7,06E+03	1,72E+04	3,10E+04	4,29E+04	4,05E+04	3,36E+04	5,10E+04	5,10E+04	3,18E+04	
2011	3,25E+03	2,86E+04	4,08E+04	2,63E+04	6,63E+03	1,77E+04	3,52E+04	4,78E+04	4,62E+04	3,83E+04	5,82E+04	5,17E+04	3,34E+04	
2012	3,65E+03	3,24E+04	4,38E+04	2,53E+04	7,56E+03	2,02E+04	3,86E+04	5,30E+04	4,56E+04	4,35E+04	6,30E+04	5,25E+04	3,58E+04	
2013	2,33E+03	3,40E+04	4,25E+04	2,40E+04	8,54E+03	2,13E+04	4,08E+04	5,16E+04	4,47E+04	4,59E+04	6,18E+04	5,10E+04	3,57E+04	
2014	2,54E+03	2,82E+04	3,61E+04	2,25E+04	7,94E+03	1,93E+04	3,44E+04	4,27E+04	3,98E+04	3,84E+04	5,14E+04	4,41E+04	3,06E+04	

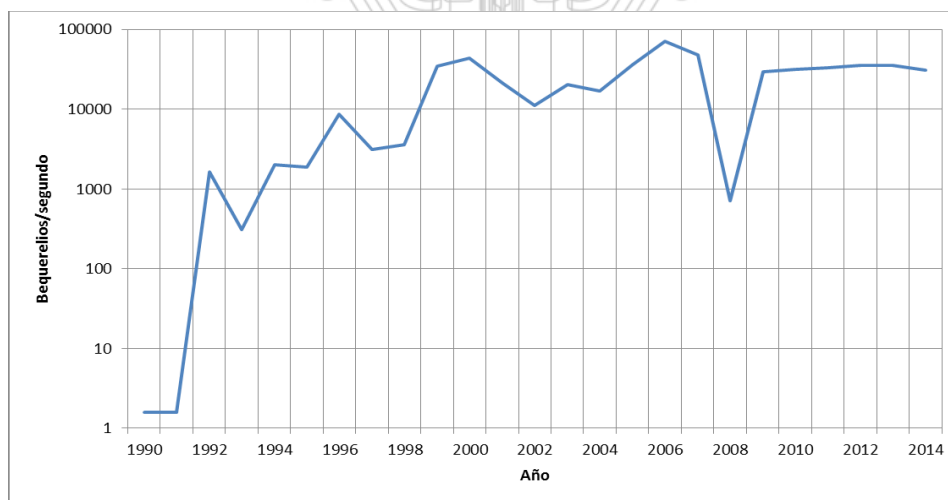


Figura N° 13. Evolución de las descargas de I-131 al ambiente

La Tabla N° 3 y Figura N° 13 muestran la evolución de las descargas de I-131 desde el año 1990 al 2014, tomando como referencia un factor de dilución de $6,36 \times 10^{-5}$.

4.2.5 Estimación de la dosis por efluentes gaseosos

Una vez que el material radiactivo se libera a la atmósfera, la difusión y el transporte atmosférico actúan dispersando los contaminantes en el medio ambiente a un ritmo que depende de la velocidad del viento, de la estabilidad térmica, de la precipitación y de las características del terreno.

Para tener en cuenta la especificidad de cada uno de los emplazamientos, en el estudio se han utilizado las condiciones meteorológicas registradas por la estación meteorológica de la instalación. A partir de la actividad liberada y teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas propias del emplazamiento se han determinado, las concentraciones de material radiactivo presentes en el aire en el Centro Poblado Huarangal.

Para ello se ha considerado la ubicación de este centro poblado respecto al centro nuclear, su distancia, sector de la rosa de vientos y evolución de la densidad poblacional desde el año 1990 al 2014.

Conocidas las concentraciones del radioisótopo en el aire se han simulado los mecanismos de llegada hasta los individuos de la población mediante su impacto directo. La vía de exposición considerada en este estudio se debe al proceso de inhalación del I-131 contenido en la nube radiactiva.

Tabla N° 4. Concentración de I-131 en el Centro Poblado Huarangal (Bq/m³)

Año	Meses Calendario												Promedio
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
1990	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05
1991	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05
1992	2,42E-05	2,71E-01	2,42E-05	2,42E-05	8,81E-03	1,84E-02	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,49E-02
1993	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	5,45E-03	2,83E-02	7,14E-03	7,14E-03	6,03E-03	1,57E-03	1,57E-03	4,78E-03
1994	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	3,39E-03	1,57E-02	5,33E-02	2,66E-02	6,54E-02	3,15E-02	1,02E-01	5,57E-02	2,23E-02	3,13E-02
1995	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,42E-05	2,08E-02	5,33E-02	4,60E-03	3,63E-03	1,55E-02	6,54E-02	1,07E-01	7,99E-02	2,91E-02
1996	1,55E-03	6,30E-03	8,47E-01	2,01E-03	2,18E-03	5,08E-03	2,66E-02	2,35E-02	1,48E-02	2,91E-03	2,66E-03	6,78E-01	1,34E-01
1997	1,02E-02	1,96E-01	2,42E-05	1,69E-01	6,05E-03	1,99E-02	1,50E-01	6,54E-03	1,02E-02	7,99E-03	2,42E-05	2,66E-03	4,83E-02
1998	7,70E-03	7,89E-03	4,31E-02	4,38E-02	1,28E-01	4,09E-02	2,03E-01	1,86E-02	1,31E-01	7,60E-03	6,30E-03	2,66E-02	5,54E-02
1999	1,44E-02	1,02E-02	1,03E-02	1,30E+00	3,66E-01	1,50E+00	2,12E-01	1,60E-02	2,98E+00	2,71E-02	5,18E-03	1,46E-02	5,38E-01
2000	1,94E-03	2,16E-03	8,11E-03	1,30E-01	3,46E-02	9,39E-01	7,02E-01	3,08E-01	2,98E+00	2,71E-02	2,98E+00	4,77E-03	6,77E-01
2001	8,55E-03	5,41E-02	1,54E-02	4,10E-01	1,34E-01	6,25E-01	3,17E-01	8,72E-02	1,53E+00	1,75E-02	7,48E-01	1,22E-02	3,30E-01
2002	6,24E-03	3,09E-02	8,54E-03	2,09E-01	8,84E-02	3,20E-01	1,60E-01	5,08E-02	7,68E-01	1,39E-02	3,77E-01	1,12E-02	1,70E-01
2003	5,21E-03	4,08E-02	1,16E+00	1,34E+00	1,56E-01	2,03E-01	1,86E-02	1,31E-01	7,60E-03	1,60E-02	5,18E-03	7,02E-01	3,15E-01
2004	6,67E-03	3,20E-02	2,98E-01	5,23E-01	2,16E-03	8,11E-03	1,78E-01	1,82E-01	7,76E-01	2,99E-02	3,83E-01	7,13E-01	2,61E-01
2005	1,99E-01	3,30E-01	8,20E-01	5,25E-01	1,03E-02	1,86E-01	3,60E-01	9,57E-01	8,05E-01	4,12E-01	1,10E+00	9,74E-01	5,56E-01
2006	1,39E-02	1,15E+00	1,34E+00	5,35E-01	1,97E-01	5,46E-01	1,32E+00	1,76E+00	1,22E+00	1,51E+00	2,07E+00	1,53E+00	1,10E+00
2007	4,32E-02	8,32E-01	6,27E-01	2,44E-01	2,48E-01	6,21E-01	1,03E+00	9,93E-01	9,09E-01	1,19E+00	1,20E+00	8,77E-01	7,34E-01
2008	3,92E-03	7,70E-03	1,69E-03	7,89E-03	4,31E-02	1,37E-02	2,18E-03	1,44E-02	1,02E-02	1,03E-02	6,54E-03	1,02E-02	1,10E-02
2009	3,97E-02	3,46E-01	6,08E-01	4,84E-01	1,06E-01	2,71E-01	4,37E-01	5,84E-01	6,42E-01	4,55E-01	7,34E-01	6,88E-01	4,50E-01
2010	4,45E-02	3,91E-01	6,94E-01	5,23E-01	1,09E-01	2,64E-01	4,77E-01	6,61E-01	6,24E-01	5,18E-01	7,85E-01	7,85E-01	4,90E-01
2011	5,01E-02	4,41E-01	6,28E-01	4,06E-01	1,02E-01	2,73E-01	5,43E-01	7,36E-01	7,12E-01	5,89E-01	8,96E-01	7,97E-01	5,14E-01
2012	5,63E-02	5,00E-01	6,75E-01	3,89E-01	1,16E-01	3,11E-01	5,95E-01	8,16E-01	7,03E-01	6,69E-01	9,70E-01	8,09E-01	5,51E-01
2013	3,59E-02	5,24E-01	6,54E-01	3,70E-01	1,32E-01	3,29E-01	6,28E-01	7,95E-01	6,88E-01	7,06E-01	9,52E-01	7,85E-01	5,50E-01
2014	3,91E-02	4,34E-01	5,55E-01	3,46E-01	1,22E-01	2,97E-01	5,30E-01	6,57E-01	6,13E-01	5,92E-01	7,92E-01	6,79E-01	4,71E-01

La tabla N° 4 presenta la concentración estimada de I-131 en el aire del centro poblado Huarangal ubicado a un kilómetro de distancia en dirección Nor-Este de la chimenea de la PPR. Para el desarrollo de las estimaciones dosimétricas por inhalación del I-131 se ha utilizado como referencia la información proporcionada por el OIEA. Mediante el uso de estas herramientas en el presente estudio se ha determinado la dosis equivalente efectiva por categorías de edad, con hábitos de consumo medios, residente en el centro poblado. Se han considerado las emisiones anuales de material radiactivo desde el comienzo de funcionamiento hasta el año 2014 y las condiciones meteorológicas.

Otros parámetros necesarios para los cálculos y las referencias de donde se han extraído son: constantes de desintegración radiactiva, factores de conversión a dosis efectiva por inhalación e ingestión y tasa de respiración pulmonar.

Tabla N° 5. Tasa de respiración pulmonar por grupos de edad

Grupos de edad (años)	Tasa de respiración (metros cúbicos/minuto)
Menores de 2	0,0020
2 a 7	0,0030
7 a 12	0,0045
12 a 17	0,0060
Mayores de 17	0,0060

La Tabla N° 5 muestra la tasa de respiración pulmonar, en metros cúbicos por minuto, para los diferentes grupos de edad.

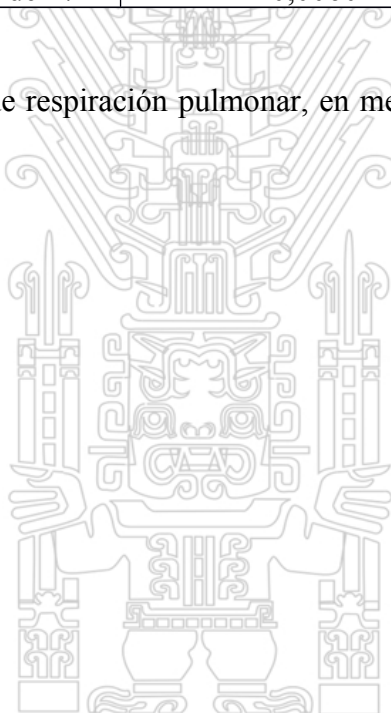


Tabla N° 6. Incorporación anual de I-131 por miembros del centro poblado Huarangal según grupos de edad (becquerels).

Año	< 2 años	2 a 7 años	7 a 12 años	12 a 17 años	> 17 años
1990	0,0042	0,0127	0,0191	0,0255	0,0255
1991	0,0042	0,0127	0,0191	0,0255	0,0255
1992	4,3603	13,0810	19,6215	26,1620	26,1620
1993	0,8375	2,5125	3,7687	5,0250	5,0250
1994	5,4842	16,4526	24,6788	32,9051	32,9051
1995	5,1063	15,3188	22,9782	30,6376	30,6376
1996	23,5506	70,6517	105,9776	141,3035	141,3035
1997	8,4570	25,3709	38,0563	50,7417	50,7417
1998	9,7098	29,1295	43,6943	58,2590	58,2590
1999	94,2560	282,7681	424,1522	565,5362	565,5362
2000	118,5434	355,6301	533,4451	711,2601	711,2601
2001	57,7415	173,2246	259,8370	346,4493	346,4493
2002	29,8325	89,4976	134,2464	178,9952	178,9952
2003	55,2633	165,7900	248,6851	331,5801	331,5801
2004	45,6998	137,0994	205,6491	274,1989	274,1989
2005	97,4450	292,3350	438,5025	584,6700	584,6700
2006	192,6048	577,8145	866,7217	1155,6290	1155,6290
2007	128,6534	385,9602	578,9404	771,9205	771,9205
2008	1,9235	5,7705	8,6558	11,5411	11,5411
2009	78,7746	236,3239	354,4859	472,6478	472,6478
2010	85,7664	257,2991	385,9486	514,5982	514,5982
2011	90,1239	270,3718	405,5577	540,7436	540,7436
2012	96,4702	289,4107	434,1161	578,8215	578,8215
2013	96,3310	288,9930	433,4895	577,9859	577,9859
2014	82,5776	247,7328	371,5991	495,4655	495,4655

La tabla N° 6 se presenta la cantidad total anual de I-131 incorporado por miembros del centro poblado Huarangal, para ello se ha considerado que los niños menores de 2 años permanecen solo 4 horas expuestos a la nube radiactiva fuera de sus hogares, mientras que para el resto de la población se ha considerado un tiempo de permanencia de 8 horas diarias.

Tabla N° 7. Factores dosimétricos debido a la incorporación de I-131 por inhalación (mSv/Bq).

Grupos de edad (años)	Factor dosimétrico (miliSievert/becquerel)
Menores de 2	$7,20 \times 10^{-5}$
2 a 7	$3,70 \times 10^{-5}$
7 a 12	$1,90 \times 10^{-5}$
12 a 17	$1,10 \times 10^{-5}$
Mayores de 17	$7,40 \times 10^{-6}$

La tabla N° 7 muestra los factores dosimétricos expresados en miliSievert por Becquerel los cuales fueron empleados para la estimación de las dosis en los habitantes de Huarangal.

Tabla N° 8. Dosis efectiva comprometida anual (mSv).

Año	< 2 años	2 a 7 años	7 a 12 años	12 a 17 años	> 17 años
1990	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1991	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1992	0,0003	0,0005	0,0004	0,0003	0,0002
1993	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000
1994	0,0004	0,0006	0,0005	0,0004	0,0002
1995	0,0004	0,0006	0,0004	0,0003	0,0002
1996	0,0017	0,0026	0,0020	0,0016	0,0010
1997	0,0006	0,0009	0,0007	0,0006	0,0004
1998	0,0007	0,0011	0,0008	0,0006	0,0004
1999	0,0068	0,0105	0,0081	0,0062	0,0042
2000	0,0085	0,0132	0,0101	0,0078	0,0053
2001	0,0042	0,0064	0,0049	0,0038	0,0026
2002	0,0021	0,0033	0,0026	0,0020	0,0013
2003	0,0040	0,0061	0,0047	0,0036	0,0025
2004	0,0033	0,0051	0,0039	0,0030	0,0020
2005	0,0070	0,0108	0,0083	0,0064	0,0043
2006	0,0139	0,0214	0,0165	0,0127	0,0086
2007	0,0093	0,0143	0,0110	0,0085	0,0057
2008	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001
2009	0,0057	0,0087	0,0067	0,0052	0,0035
2010	0,0062	0,0095	0,0073	0,0057	0,0038
2011	0,0065	0,0100	0,0077	0,0059	0,0040
2012	0,0069	0,0107	0,0082	0,0064	0,0043
2013	0,0069	0,0107	0,0082	0,0064	0,0043
2014	0,0059	0,0092	0,0071	0,0055	0,0037
Acumulado	0,1015	0,1565	0,1205	0,0930	0,0626

La tabla N° 8 muestra la dosis comprometida efectiva individual debido a la inhalación de I-131, para cada año, expresada en miliSievert (mSv).

La dosis integrada individual acumulada para los diferentes grupos poblacionales evaluados

durante el periodo del estudio (1990 a 2014) se presenta en la Figura N° 14.

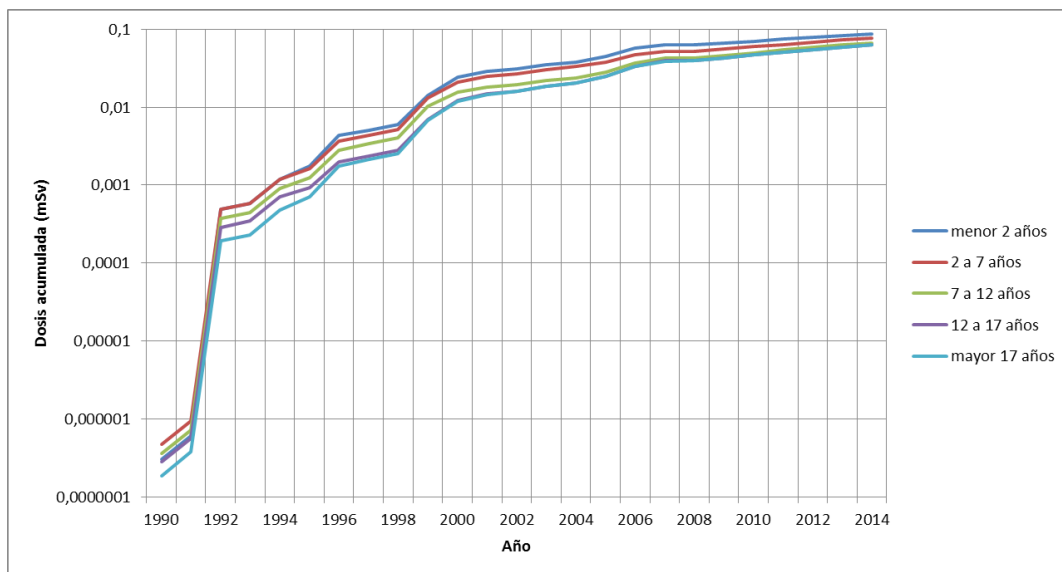


Figura N° 14. Dosis individual acumulada en habitantes del Centro Poblado Huarangal

La dosis colectiva para el centro poblado Huarangal se calculó en base al número de habitantes por grupos de edad y la dosis anual para cada año del periodo de estudio. Se puede observar que el mayor valor se obtuvo en el año 2006 (Tabla N° 9).

En base a estos resultados, se puede interpretar que las liberaciones de I-131 han contribuido a incrementar la dosis en la población de Huarangal en un orden de magnitud muy pequeño como para generar riesgo de aparición de efectos deterministas, por otro lado, las dosis poblacionales debido a fuentes artificiales no llegan a superar el 10% del límite anual por lo que el riesgo de efectos estocásticos es muy bajo.

Tabla N° 9. Dosis colectiva en el centro poblado Huarangal (mSv-hombre)

Año	1 a 2 años	2 a 7 años	7 a 12 años	12 a 17 años	+ 17 años	Total	Acumulada
1990	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001
1991	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001
1992	0,0060	0,0194	0,0134	0,0086	0,0211	0,0685	0,0686
1993	0,0011	0,0037	0,0026	0,0017	0,0041	0,0132	0,0818
1994	0,0075	0,0245	0,0170	0,0109	0,0267	0,0866	0,1683
1995	0,0071	0,0229	0,0159	0,0102	0,0250	0,0810	0,2493
1996	0,0327	0,1061	0,0736	0,0473	0,1157	0,3754	0,6248
1997	0,0118	0,0383	0,0266	0,0171	0,0417	0,1355	0,7602
1998	0,0136	0,0442	0,0306	0,0197	0,0482	0,1563	0,9165
1999	0,1328	0,4311	0,2988	0,1922	0,4698	1,5248	2,4413
2000	0,1678	0,5448	0,3776	0,2429	0,5938	1,9270	4,3683
2001	0,0822	0,2666	0,1848	0,1189	0,2906	0,9431	5,3114
2002	0,0426	0,1384	0,0960	0,0617	0,1509	0,4896	5,8010
2003	0,0794	0,2576	0,1786	0,1149	0,2808	0,9113	6,7124
2004	0,0660	0,2141	0,1484	0,0955	0,2333	0,7572	7,4696
2005	0,1413	0,4586	0,3179	0,2045	0,4999	1,6223	9,0918
2006	0,2806	0,9108	0,6314	0,4061	0,9927	3,2216	12,3134
2007	0,1883	0,6112	0,4237	0,2726	0,6662	2,1620	14,4755
2008	0,0028	0,0092	0,0064	0,0041	0,0100	0,0325	14,5079
2009	0,1164	0,3777	0,2619	0,1685	0,4117	1,3362	15,8441
2010	0,1273	0,4132	0,2864	0,1843	0,4504	1,4615	17,3056
2011	0,1344	0,4362	0,3024	0,1945	0,4754	1,5428	18,8485
2012	0,1445	0,4690	0,3251	0,2092	0,5112	1,6591	20,5075
2013	0,1450	0,4705	0,3262	0,2098	0,5128	1,6642	22,1717
2014	0,1248	0,4051	0,2809	0,1807	0,4416	1,4331	23,6049

La tabla N° 9 muestra la dosis colectiva generada en los diferentes grupos de edad en donde se aprecia que el impacto radiodosimétrico es bajo para el periodo de estudio realizado.

Para estimar el riesgo de cáncer por exceso, se tomó como referencia un valor de $0,97 \times \text{Sv}^{-1}$ para las diferentes causas de cáncer de $1,931 \times \text{Sv}^{-1}$ para casos de leucemia (Cardiset *al*, 2005). Los excesos de riesgo para cada uno de los grupos estudiados desde 1990 a 2014 se presentan en la Figura N° 15.

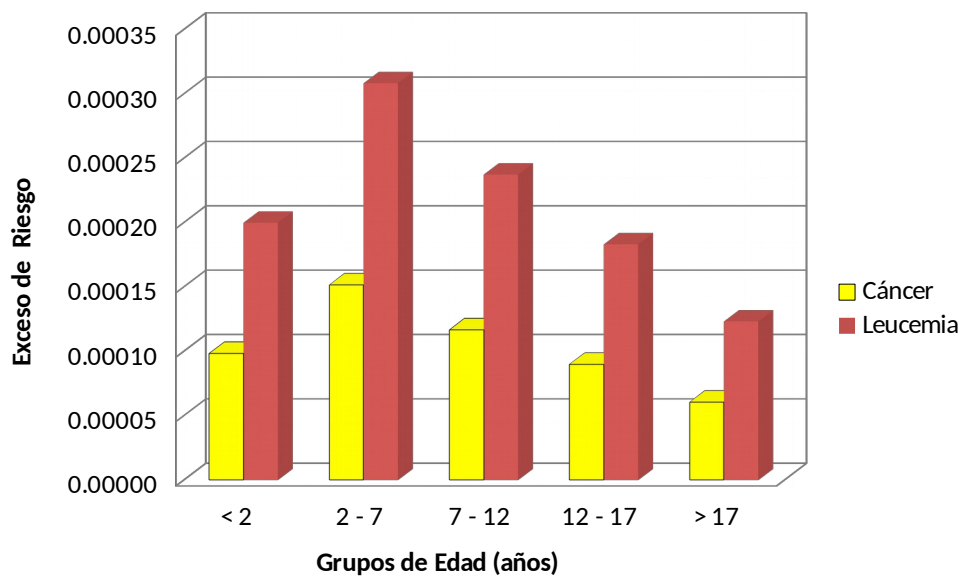
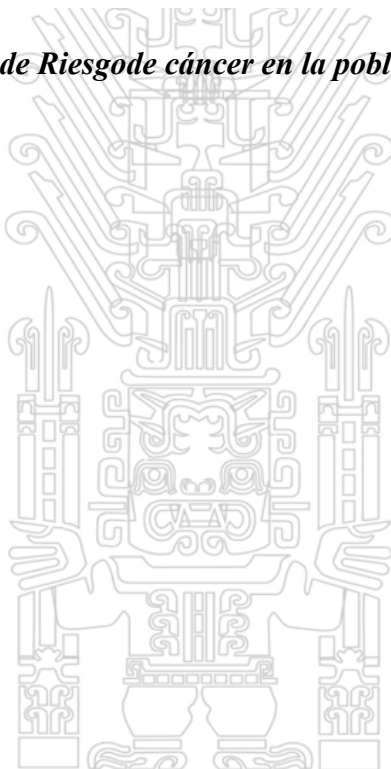


Figura N° 15. Exceso de Riesgo de cáncer en la población de Huarangal



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. DISCUSIÓN

La red de sucesos se inicia con la fuente de exposición la cual está constituida por la PPR del Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra “RACSO”, el radioyodo se transfiere por diferentes vías, especialmente por la atmósfera, y produce un impacto radiosanitario en los individuos de Huarangal con la consecuente incorporación en la población.

Como resultado de este estudio, se ha comprobado que los pobladores están expuestos en muy pequeña proporción a esta fuente radiactiva pero sin embargo, también se encuentran expuestos a fuentes ambientales y médicas.

Si tomamos como referencia la exposición anual promedio del público que es de 2,4 mSv debido a fuentes naturales y el límite de dosis de 1,0 mSv debido a fuentes artificiales, se observa que la máxima exposición recibida por los habitantes de Huarangal, debido a la incorporación de I-131 por inhalación, fue de 0,0214 mSv en niños de 2 a 7 años durante el año 2006, esta dosis solo representa el 0,89% de la dosis debida a fuentes naturales y el 2,14% de la dosis límite debido a fuentes artificiales, estos valores son inferiores si se comparan con los de Hall et al (1992) quienes encontraron que un riesgo de leucemia a los 2 años después de la exposición es significativo cuando alcanza los 14 mSv.

La introducción de una nueva actividad en la zona, como es la producción de radioisótopos, principalmente I-131 utilizado para fines médicos, ha generado una nueva fuente de exposición a los pobladores de Huarangal, quienes al encontrarse en dirección Nor-Este del Centro Nuclear, constituyen el grupo crítico de estas actividades, sin embargo, a nivel poblacional, no se ha dado un incremento en el número de individuos expuestos pues, como se puede observar en la Tabla N°1, el índice de crecimiento poblacional se encuentra muy por debajo de la media nacional, alcanzando solo el 0,5% anual, a diferencia del 1,7% anual (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 1996).

Esta tasa de crecimiento poblacional no se debe a la disminución en la fertilidad de las mujeres de la zona, sino a la migración de sus habitantes a localidades como Puente Piedra o Carabayllo con la finalidad de buscar una mejora en su calidad de vida.

Las acciones destinadas a disminuir la exposición son de exclusiva responsabilidad del Centro Nuclear “RACSO”, para ello, sus instalaciones cuentan con un sistema de filtros que retienen hasta en un 99% las emisiones de radioyodos a la atmósfera, evitando así un compromiso de dosis en la población y el medio ambiente comprendidos dentro del área de influencia de este emplazamiento, sin embargo, no existe forma de reducir aún más estas descargas sobre Huarangal pues la vía de transferencia representativa está dada por la dirección y velocidad del viento, que es una variable constante en esta región.

En situaciones de exposiciones planificadas, se considera como la deliberada introducción de material radiactivo debido a una instalación; esta situación planificada, que es la que actualmente se viene dando en Huarangal, esto incluye exposiciones que se estima ocurran por efecto de las actividades rutinarias y las exposiciones que no pueden predecirse, las cuales son llamadas exposiciones potenciales como por ejemplo las provenientes de los recursos hídricos y de alimentos contaminados con I-131, estas exposiciones no se tomaron en cuenta debido a que la fuente más importante de exposición proveniente de la fuente es el aire y pueden constituir materia de una nueva investigación.

En situaciones de emergencia, se van a requerir adoptar medidas que permitan evitar o reducir consecuencias indeseables (OIEA, 2000). De acuerdo a los resultados del estudio, es muy baja la probabilidad de una situación de este tipo debido al sistema de contención de las instalaciones.

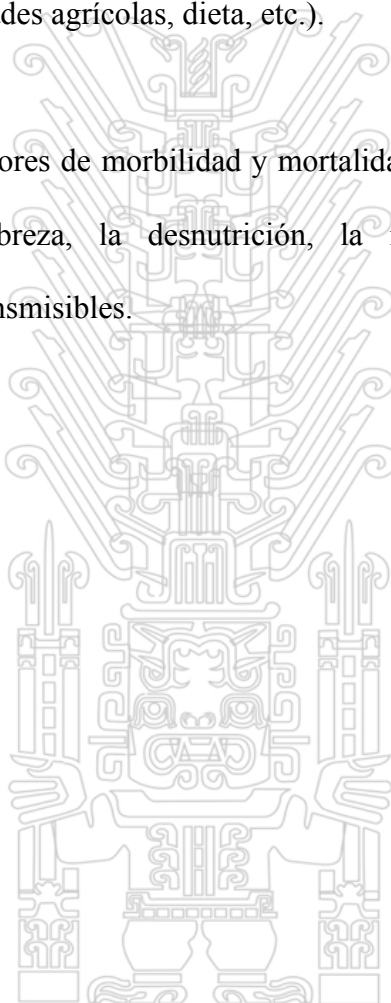
Los estudios pre-operacionales demuestran que la exposición de los pobladores a radiactividad artificial ocurre desde 1990, con el inicio de las operaciones del Centro Nuclear “RACSO”, por lo tanto, este estudio no contempla este tipo de exposición habida cuenta de que antes de 1990 no existía ninguna fuente de emisión radiactiva.

Considerando los resultados obtenidos, se puede verificar que la dosis recibida por los pobladores de Huarangal se ha incrementado en función del tiempo, sin embargo, el exceso de riesgo es extremadamente bajo, así, se puede estimar que para que se presente un caso de leucemia por exceso en niños con edades entre 7 y 12 años, se requiere una población de

3500 niños con estos rangos de edad, es decir 87,5 veces más niños con respecto a la población actual que es de 40 niños en promedio.

Los estilos de vida de la población de Huarangal los expone a otros factores de riesgo carcinogénicos convencionales (exposición prolongada a la luz solar, uso ineficiente de sustancias empleadas en actividades agrícolas, dieta, etc.).

Por lo tanto, los principales factores de morbilidad y mortalidad en esta población lo siguen constituyendo la extrema pobreza, la desnutrición, la ineficiente educación y las enfermedades respiratorias y transmisibles.



5.2. CONCLUSIONES

5.2.1. La dosis debido a exposición por inhalación de I-131 se ha incrementado gradualmente con el tiempo desde la inauguración del Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra.

5.2.2. No es posible atribuir un mayor riesgo contraer cáncer debido a la residencia próxima a este Centro Nuclear.

5.2.3. Se puede afirmar que la dosis de radiactividad que reciben los habitantes de este centro poblado no incrementan su tasa incidencia de cáncer radioinducido.

5.2.4. Las condiciones socio-económicas propias de esta comunidad son las que inciden significativamente en la morbilidad y mortalidad de sus habitantes.

5.3. RECOMENDACIONES

En los últimos años, Comisión Internacional de Protección Radiológica ha visto por conveniente realizar estudios adicionales a fin de identificar el detrimento en las poblaciones expuestas a bajas dosis debido a otros tipos de afecciones diferentes al cáncer, como por ejemplo estrés, afecciones cardiacas, digestivas, etc.; por lo tanto, se recomienda ampliar este tipo de investigaciones en la población de Huarangal a fin de continuar con las evaluaciones del impacto en la salud debido a las actividades del Centro Nuclear. Asimismo, la evaluación de otras vías de transferencia como el agua y alimentos, contribuirán a un mejor conocimiento del impacto radiosanitario de esta instalación.

5.4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Akahane, K., Yonai, S., Fukuda, S., Miyahara, N., Yasuda, H., Iwaoka, K., Matsumoto, M., Fukumura A. and Akashi, M. (2012). *The Fukushima Nuclear Power Plant accident and exposures in the environment*. *Environmentalist*(32). 136-143.

Alfaro, M. y Vargas, C. (2005). *Energía y Tecnología Nuclear*. (pp. 319). Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Alonso, JM., Jiménez, D., Palacios, JJ., Royo, C., Urbina, JR., Santiago, C. y Bárcena, A. (2004) *Prevalencia y distribución geográfica del cáncer en el área de salud de Guadalajara*. *Revista Española de Salud Pública* (78). 83-94.

Alonso, C., Guillen, A., Cartas, H., Morera, Y. and Díaz, M. (2012). *Observations of Fallout from the Fukushima Reactor Accident in Cienfuegos, Cuba*. *Bull Environ Contam Toxicology*(88). 752-754.

Azuela, LF. y Talancón L. (1999). *Contracorriente: Historia de la Energía Nuclear en México 1945-1995*. (pp. 371). México, Ed. Plaza y Valdez S.A.

Boticario, C. y Cascales, M. (2008). *Innovaciones en cáncer*. (pp. 113). Madrid, España. Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED.

Brenner, AV., Tronko, MD., Hatch, M., Bogdanova, TI., Oliynik, VA., Lubin, JH., Zablotska, LB., Tereschenko, VP., McConnell, RJ., Zamotaeva, GA., O'Kane, P., Bouville, AC., Chaykovskaya, LV., Greenbaum, E., Paster, IP., Shpak, VM. and Ron, E. (July 2011). I-131 Dose Response for Incident Thyroid Cancers in Ukraine Related to the Chernobyl Accident. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 117 (7). 933-939.

Budyka, AK. and Ogorodnikov, BL. (1993). *Calculation of gaseous forms and sizes of aerosol particles 131-Iodine: the radioactive fallout of Chernobyl accident by calculation of inhaled radiation dose*. *Radiats. Biol. Radioecol.* Vol. 33(5). 611-619.

Caicedo, R., Arguelles, G. y Alzate, A. (1996) *Exposición a dosis bajas de radiación ionizante en el Hospital Universitario del Valle, Cali, 1980-1992*. *Colombia Médica*. Vol. 27 (3-4). 134-37.

Cardis, E., Vrijheid, M., Blettner, M., Gilbert, E., Hakama, M., Hill, C., Howe, G., Kaldor, J., Muirhead, CR., Schubauer-Berigan, M., Yoshimura, T., Bermann, F., Cowper, G., Fix, J., Hacker, C., Heinmiller, B., Marshall, M., Utterback, D., Ahn, Y-O., Amoros, E., Ashmore, P., Auvinen, A., Bae, JM., Bernar, J., Biau, A., Combalot, E., Deboodt, P., Diez, A., Eklof, M., Engels, H., Engholm, G., Gulis, G., Habib, R., Holan, K., Hyvonen, H., Kerekes, A., Kurtinaitis, J., Malker, H., Martuzzi, M., Mastauskas, A., Monnet, A., Moser, M., Pearce, MS., Richardson, DB., Rodriguez-Artalejo, F., Rogel, A., Tardy, H., Telle-Lamberton, M., Turai, I., Usel, M. and Veress, K. (2005) *Risk of*

cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries.BMJ, doi:10.1136/bmj.38499.599861.E0 (published 29 June 2005).

Córdoba, G. (2004) *La Tesis y el Trabajo de Tesis*. (pp. 35). México.Editorial Limusa.

CSN (2009) *Estudio epidemiológico del posible efecto de las radiaciones ionizantes derivadas del funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo de combustible nuclear españolas sobre la salud de la población que reside en su proximidad*. Informe Final. (218 páginas). Madrid, España. Consejo de Seguridad Nuclear.

Frisancho, I., Pardo, G., Pizarro, M. y Jibaja, E. (1962).*Estudio preliminar de la radiactividad ambiental*.Bol. JCEA, 7(40). 18-22.

González, S., Osoreo, J., López, E., Martínez, J., Jara, R. y Anaya, A. (2001). *Informe de Radiactividad Ambiental 1999-2000*. Lima, Perú. Instituto Peruano de Energía Nuclear.

González, S., Osoreo, J., López, E., Martínez, J., Jara, R. y Anaya, A. (2002). *Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental en el Centro Nuclear RACSO 1998-2001*. Informe Científico-Tecnológico 1998-2001. (pp. 346-347).Lima, Perú. Instituto Peruano de Energía Nuclear. ISSN 1684-1662

Gosling, FG. (1999) *The Manhattan Project: Making the Atomic Bomb*. (pp. 66). USA. Diane Publishing. ISBN 0788178806.

Hall, P.,Lundell, G.,Mattsson, A.,Wiklund, A.,Holm, L.,Lidberg, M.,Boice, JD.,Berg, G.,Bjelkengren, G.,Ericsson, B.,Hallquist, A. and Tennvall, J. (July 4, 1992).*Leukaemia incidence after iodine-131 exposure*. TheLancet. Vol. 340 (8810). 1-4

INEI (1996).*Proyecciones departamentales de la población 1995-2015*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima, Perú. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0015/N00.htm

IPEN (2006) *Manual de Organización y Funciones del Instituto Peruano de Energía Nuclear*. Resolución N° 146-06-IPEN/PRES. Diario Oficial El Peruano, Normas Legales. Año XXIII (9678). 334415.

IPEN-CNEA, (1981). *Evaluación de la zona de emplazamiento y del área de influencia del Centro Nuclear de Investigaciones del Perú*.Lima, Perú. Instituto Peruano de Energía Nuclear, Comisión Nacional de Energía Atómica.

IPEN-CNEA, (1981). *Evaluación de la zona de emplazamiento y del área de influencia del Centro Nuclear de Investigaciones del Perú. Capítulo 3: Ecología*.Lima, Perú. Instituto Peruano de Energía Nuclear, Comisión Nacional de Energía Atómica.

Jay, KEB. (1956).*Calder Hall: The Story of Britain's First Atomic Power Station*.(88 p)UK.

Harcourt, Brace& Co.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Jibaja, E., Amiel, J., Pardo, C. y Salazar, E. (1967). *Radiactividad Ambiental en 1966*. Bol.

JCEA, 12 (57).12-25.

Kaul, A. and Roedler, HD. (1980). *Radioiodine: biokinetics, mean dose and dose distribution*.

Radiat. Environ. Biophys. 18(3).185-95.

Lewis, EB.(1959). *Thyroid Radiation Doses from Fallout*. Proc. Natl. Acad. Sci. (45). 894.

MEM (1997). *Reglamento de Seguridad Radiológica*. Ministerio de Energía y Minas. Decreto

Supremo N° 009-97-EM. Diario Oficial El Peruano, Normas Legales. Año XIV.

149597-607.

MEM (2002). *Reglamento de Protección Física de Materiales e Instalaciones Nucleares*.

Ministerio de Energía y Minas. Decreto Supremo N° 014-2002-EM. Diario Oficial El

Peruano, Normas Legales. Año XX (7976). 221811-16.

MEM (2003). *Reglamento de Autorizaciones, Fiscalización, Control, Infracciones y*

Sanciones de la Ley N° 28028 – Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación

Ionizante. Ministerio de Energía y Minas. Decreto Supremo N° 041-2003-EM. Diario

Oficial El Peruano, Normas Legales. Año XXI (8573).256958-71.

Moore, D. (2000) Estadística Básica Aplicada. (pp. 10-11). Madrid, España. Editorial Antoni Bosh.

Nishizawa, K., Hamada, N. and Sakuma S. (1983). *Monitoring of I-125 contamination in vivo by analysis of the saliva*. Radioisotopes 32(8). 364-71.

OIEA (1979). *Seguridad en el emplazamiento de centrales nucleares*. Colección Seguridad N° 50-C-S. Colección Normas de Seguridad. (pp. 46). Viena, Austria. Organismo Internacional de Energía Atómica.

OIEA (1986) *Atmospheric dispersion Models for Application in Relation to Radionuclide Releases – A Review*. IAEA TECDOC 379. Viena, Austria. Organismo Internacional de Energía Atómica.

OIEA (2000) *Método para el desarrollo de la preparación de respuesta a emergencias nucleares o radiológicas*. IAEA-TECDOC 953. Viena, Austria. Organismo Internacional de Energía Atómica.

Oliver, LL., Ballad, RV. and Manuel, OK. (1982). *I-129 in Missouri thyroids*. Health Phys. 42(4).425-32.

ONU (1987). *Convención sobre la protección física de los materiales nucleares*. United Nations. Treaty Series. Vol. 1456 (24631). 152-160.

Osores, JM. (2006). *Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental 2006* – Centro Nuclear RACSO. Documento Técnico DT06-001-COAM. Departamento de Control Ambiental. Lima, Perú. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima, Perú.

Osores, JM. y Jara, R. (2013). Monitoreo radiológico ambiental debido al accidente nuclear de Fukushima. Informe Científico Tecnológico 2012. Instituto Peruano de Energía Nuclear. 171-174.

Poquioma, RE. (2005). *El Cáncer como problema de Salud Pública*. Minsa 2005. Lima, Perú. Ministerio de Salud. Lima.

Santisteban, AS. (2001). *Cáncer en el Perú del 2000: Hechos, cifras, realidades*. Revista Diagnóstico. Vol. 40 (6).

Szklo, M. y Nieto, J. (2003). *Epidemiología Intermedia*. (pp. 18). La Habana, Cuba. Ediciones Díaz Santos.

Sobolev, G. and Voigt, G. (1996). *Estimation of I-131 thyroid doses for the evacuees from Pripjat*. Radiat. Environ. Biophys. 35(2).81-87.

Suman, F., Easterly, DG. and Baratta, EJ. (1982). *Quantitative determination of I-131, Cs-137 and Ba-140 in milk: collaborative studies*. J. Assoc. Off. Anal. Chem 65(5). 1039-43.

Walsh Perú (2011).*Estudio de Impacto Ambiental para la Perforación Exploratoria en el Lote Z-35: Resumen Ejecutivo*. Lima, Perú. Walsh Perú S.A.

Vallenas, G. (2009).*La Mortalidad en el Perú*. Lima, Perú. Instituto Nacional de Estadística e Informática.

