



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**MEDICIÓN DE RADÓN EN XOCHIMILCO Y
CORRELACIÓN ENTRE LAS MEDICIONES DE
CORTO Y LARGO PLAZO**

T E S I S

MANCOMUNADA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO
PRESENTAN :**

ARIADNA VALLEJO MOTA

DIONISIO JOSÉ RAMÍREZ RODRÍGUEZ



MÉXICO, D. F.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE	J. MANUEL NAVARRETE TEJERO
VOCAL	JUAN LARTIGUE GORDILLO
SECRETARIO	TRINIDAD MARTÍNEZ CASTILLO
1er. SUPLENTE	S. GUILLERMINA BURILLO AMEZCUA
2°. SUPLENTE	EMILIO BUCIO CARRILLO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

FACULTAD DE QUÍMICA, EDIFICIO “D”. SECCIÓN QUÍMICA NUCLEAR.

ASESOR DEL TEMA:

M. EN C. TRINIDAD MARTÍNEZ CASTILLO _____

SUSTENTANTES:

ARIADNA VALLEJO MOTA _____

DIONISIO JOSÉ RAMÍREZ RODRÍGUEZ _____

“Un Universo en el que no existiesen misterios para que los hombres curiosos pudiesen reflexionar acerca de ellos, sería, en realidad, un Universo muy insulso”

Isaac Asimov

“El estudio es el camino para convertirse en un mejor ser humano”

Queremos agradecer, en primer lugar, a Dios por habernos concedido el deseo de cumplir con esta meta tan importante en nuestras vidas.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser nuestra *Alma Máter*.

A la Facultad de Química por darnos la oportunidad de estudiar la Carrera de Ingeniero Químico.

A nuestra asesora de Tesis, M. en C. Trinidad Martínez Castillo, por su enorme paciencia, sabios consejos y gran apoyo para culminar con este trabajo.

Al jurado: J. Manuel Navarrete Tejero, Juan Lartigue Gordillo, Guillermina Burillo Amezcua y Emilio Bucio Carrillo.

A todos nuestros profesores, quienes han aportado con su granito de arena en nuestra formación y nos compartieron sus conocimientos.

A nuestros familiares y amigos.

A las 25 familias que, incondicionalmente, nos apoyaron y nos abrieron las puertas de sus casas, para la realización de este trabajo.

Ariadna

Dedico la presente tesis a:

- Mi padre Saúl Vallejo Muñoz, por el ejemplo, cariño, dedicación y sus sabios consejos.
- Mi Madre Celia Mota Mendoza por su cariño y apoyo incondicional.
- Mis hermanos Ebert, Loireth, Edwin y Daisy por su cariño y hacerles partícipes de una meta realizada.
- Mis tías Oralia, Araceli y Arellí por el apoyo al haber terminado mi carrera.
- La doctora Soledad por su ejemplo y sabios consejos.
- Mi esposo Dionisio por su amor, comprensión, apoyo, dedicación y por ser parte importante para la realización de esta tesis.

Dionisio:

Este trabajo lo dedico:

- Especialmente a mi Madre, Concepción Lucia Rodríguez R. †. Gracias Mami por darme la vida, por ser partícipe de mis metas y por darme la fortaleza para poder llegar a este momento de mi vida. Este trabajo también te pertenece.
- A mi Padre Sirenio Ramírez R. Gracias Papá, porque me has enseñado el camino del esfuerzo y del trabajo para poder conseguir lo que uno se propone en la vida. También formas parte de este trabajo.
- A todos mis hermanos: Goyo, Acacia Gpe., Lourdes, Ramón, Mary, Rafa, Roberto y Paty, por su gran apoyo en mi época de estudiante y por ser parte de mi familia.
- A mis sobrinos: Migue, Juan, Jafet, Daniel, Irving, Iris, Rafael Jr., Elaine, Kenia, Eunice, Briand, Jocelyn, Jonnathan, Alexis, Daniela, Jenifer, Vania y Montserrat; por permitirme formar parte de sus vidas, además de dejarles un referente para que cumplan todas las metas que se propongan en la vida
- A mi esposa Ariadna, por la gran tenacidad y aliento para lograr una meta más juntos.
- A mis suegros Saúl Vallejo[†] y Celia Mota y todos mis cuñados y cuñadas, por todas sus palabras de aliento para poder culminar con este trabajo

"El agradecimiento es la memoria del corazón"

Lao-tse

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	6
CAPÍTULO 1	
CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL RADÓN	7
PROPIEDADES DEL RADÓN	9
EFFECTOS NOCIVOS EN LA SALUD	10
CAPÍTULO 2	
CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA DELEGACIÓN XOCHIMILCO	14
CAPÍTULO 3	
INSTRUMENTACIÓN	18
EL ELECTRETO	18
LECTOR DEL ELECTRETO	21
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS DOSÍMETROS	22
CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE ^{222}Rn	24
CORRECCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ^{222}Rn POR EL FACTOR DE ALTURA	25
CÁLCULO DEL ERROR ALEATORIO TOTAL DEL SISTEMA E-PERM	27
CAPÍTULO 4	
FACTORES QUE ALTERAN LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE ^{222}Rn	29
CAPÍTULO 5	
PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
5.1 RADIACIÓN GAMMA	38
5.2 CONCENTRACIÓN DE ^{222}Rn	45
5.2.1 MEDICIONES DE LARGO PLAZO (LLT)	45

5.2.2 MEDICIONES DE CORTO PLAZO (HST)	58
5.2.3 REPRESENTACIÓN BIDIMENSIONAL ENTRE CONCENTRACION DE ^{222}Rn Y EXPOSICIÓN GAMMA (γ)	60
5.3 RESULTADOS DE LOS ERRORES ALEATORIOS CON EL SISTEMA E-PERM PARA CORTO Y LARGO PLAZO	63
CAPÍTULO 6	
CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES DE CORTO Y LARGO PLAZO DE ^{222}Rn	64
CONCLUSIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	82
GLOSARIO	85

INTRODUCCIÓN

Desde su creación, el Universo está en constante cambio. De acuerdo al punto de vista atómico, los elementos sufren constantes transformaciones dando paso a otros elementos con la liberación de energía. La energía liberada es de naturaleza variable, de tal modo, podemos encontrar partículas alfa, partículas beta, rayos gamma, electrones, neutrones, etc.

La radiación cósmica primaria es aquella que se origina en el espacio exterior; está constituida por protones y partículas alfa de energía muy elevada. Al pasar a través de la atmósfera interactúa con elementos presentes en ésta, y como consecuencia de esta interacción se originan radiación gamma, electrones, neutrones, mesones y otras partículas energéticas, cuyo conjunto constituye lo que se conoce con el nombre de radiación cósmica secundaria.¹

La intensidad de la radiación cósmica es mayor en los sitios más elevados que en el nivel del mar: cuanto mayor es la altitud mayor es también la incidencia de los rayos cósmicos; contrariamente, la intensidad de la radiación cósmica disminuye considerablemente en las minas profundas.²

Las principales fuentes de radiación a las que está expuesto el ser humano son de origen natural (radiaciones de fondo), estas radiaciones; provenientes de la corteza terrestre, la atmósfera, el cosmos y el Sol, representan la mayor contribución de las que recibe el ser humano.

Las fuentes naturales de radiación se dividen en:

Fuentes externas: Son de origen terrestre, es decir los radionúclidos presentes en la corteza terrestre, en los materiales de construcción y los de origen extraterrestre (rayos cósmicos).

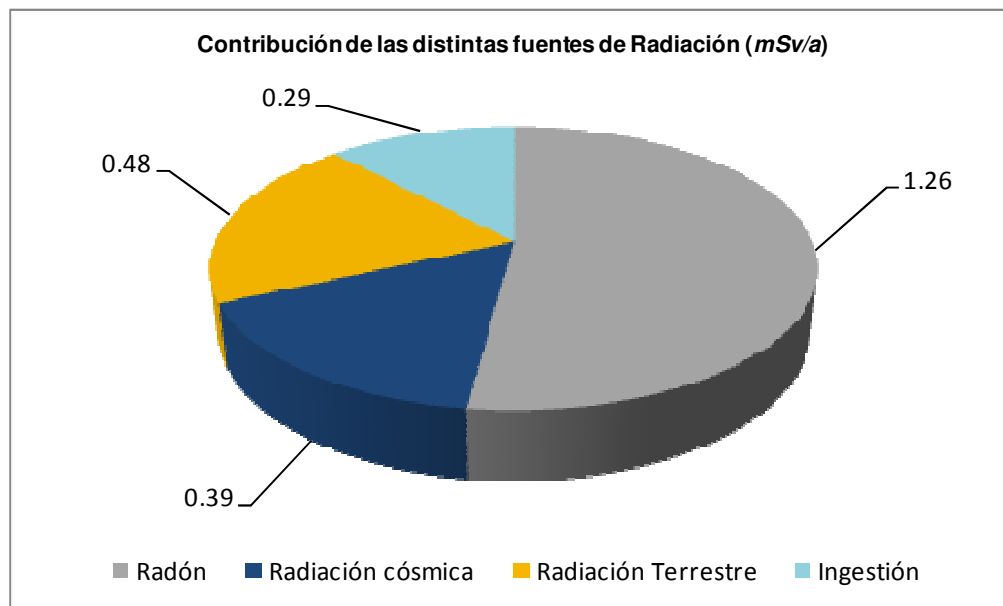
¹ Bulbulian, Silvia. La Radiactividad, FCE, México 1996, p. 59.

² *Idem.*

Fuentes internas: Se conforman de los radionúclidos presentes en la naturaleza que se incorporan al ser humano por medio de los alimentos, agua y aire (por ingestión ó inhalación).

Es importante conocer el origen, la concentración y los efectos de las radiaciones nucleares, ya que producen modificaciones en la materia que atraviesan y, por lo tanto, pueden afectar el desarrollo y la estructura de las células vivas. En particular nos referimos a la radiación que recibe la población en forma continua y no a aquella que se debe a accidentes derivados del uso de la energía nuclear o a la aplicación de tratamientos médicos.³

La dosis equivalente efectiva anual debida a fuentes naturales de radiación presentada en el reporte del Comité Científico de Naciones Unidas para el Estudio de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR, por sus siglas en inglés) es de 2.4 mSv para el adulto promedio, en la cual, el Radón (Rn) y sus descendientes contribuyen más de la mitad de la dosis total (1.26 mSv). La dosis equivalente efectiva se utiliza al hablar de la radiación natural para poder comparar los posibles riesgos de diversas fuentes (tales como el Radón).⁴



³ *Idem*, p. 60.

⁴ United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to General Assembly, with Scientific Annexes 2008. New York, 2010, p. 404

En este trabajo hablaremos del gas Radón (Rn), el cual es la fuente natural más importante de radiación, representa más de la mitad de la radiación que recibe el ser humano a lo largo de su vida (1.26 mSv/a). Este gas existe desde la formación de la tierra y surge de la desintegración del Radio, a su vez, producto de la desintegración del Uranio y Torio.

Conocer los niveles de radiactividad natural, la manera en que varían y el riesgo que representan para la salud, es el punto de partida para hacer una interpretación inteligente de los datos de los monitoreos, conocer el impacto de las fuentes adicionales de radiación ionizante producidas por el uso de radiactividad y conocer el riesgo que representa esta exposición.

El estudio de la radiactividad natural indica que existe una gran variabilidad de dosis recibidas por estas fuentes, las cuales pueden llegar a ser tan altas que llevan a tomar medidas correctivas, otras pueden ser alteradas por algunas de las actividades humanas y otras son controlables.

En función del tipo de fuente de radiación, la dosimetría en protección Radiológica puede considerarse externa o interna. La dosimetría externa determina la cantidad de radiación producida por fuentes de radiación fuera del cuerpo, mientras que la dosimetría interna determina la cantidad de radiación cuando la fuente de radiación está incorporada al cuerpo. La dosimetría externa se clasifica a su vez en dosimetría de área, dosimetría personal, dosimetría en caso de accidente y vigilancia Radiológica ambiental.

El Radón, es un gas incoloro inodoro e insípido y químicamente inerte. Es uno de los productos radiactivos de las cadenas de desintegración del Uranio y del Torio. El Radón es emanado del subsuelo y puede viajar libremente a través de los intersticios de la tierra y de las rocas, de tal forma que su concentración en un sitio dependerá de la composición del subsuelo y de los procesos geológicos que sufre la tierra. Por ser moderadamente soluble en agua puede viajar en las corrientes

subterráneas con lo que, eventualmente, saldrá a la superficie o se acumulará en los mantos freáticos y pozos.

En su viaje hacia la atmósfera el Radón puede introducirse en las viviendas a través de fisuras, empalmes, ductos de agua y aire, desagües, etc. y acumularse en el interior de las habitaciones. Los materiales de construcción y acabados pueden contribuir a incrementar la concentración de Radón, ello dependerá del tipo de materiales utilizados y de la procedencia de éstos.

Hace 20 años, la Facultad de Química; a través del departamento de Química Nuclear, en conjunto con el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, se han enfocado en mapear los niveles de concentración de Gas Radón en interiores de casa-habitación en el DF y en algunos municipios del Estado de México, así como también en Puebla y Jalisco, ya que se ha demostrado que altos niveles de concentración de Radón pueden ser nocivos para la salud. Todas las viviendas han sido monitoreadas en condiciones normales y con los hábitos y costumbres de los moradores (Condiciones de casa abierta). Conocer los niveles de concentración de Radón nos da la pauta para tomar medidas de precaución con los ciudadanos y minimizar los riesgos.

En el Estado de México se han efectuado mediciones en algunos de los municipios conurbados con el Distrito Federal, a saber, Naucalpan, Tlalnepantla, Netzahualcóyotl, Ecatepec, Chicoloapan e Ixtapaluca. En el Distrito Federal, se han llevado a cabo mediciones de concentración de gas Radón en 12 de las 16 delegaciones existentes. La siguiente figura muestra las delegaciones que ya han sido monitoreadas.⁵

⁵ Martinez, Trinidad, *et al.* Long term and Equilibrium factor indoor Radon measurements. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol. 236, p. 231



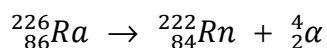
Se eligió la delegación de Xochimilco para medir las concentraciones de Radón en el interior de casas-habitación en un periodo comprendido por las cuatro estaciones del año.

OBJETIVOS

Medir y Conocer los niveles de concentración de gas Radón en interiores de casa-habitación en la delegación Xochimilco para determinar si las concentraciones obtenidas son aceptables dentro del rango permitido para el ser humano, y analizar durante que periodos del año hay mayor incidencia de Radón.

CAPÍTULO 1 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL RADÓN

El descubrimiento del gas Radón se llevó a cabo en el año 1900 por el Físico alemán Friedrich Ernst Dorn, quien observó que el gas era sumamente radiactivo y estaba asociado al Radio, por lo que lo denominaron Radón. Ramsay y Whytlaw-Gray lo aislaron por primera vez en 1910. El Radón es uno de los productos radiactivos de las cadenas de desintegración del Uranio y el Torio. El Radón es un gas incoloro inodoro, insípido y químicamente inerte. El ^{222}Rn , que es el isótopo más abundante y el más estable del Radón (de los 19 isótopos existentes), se forma en la desintegración radiactiva del ^{226}Ra . Tiene una vida media de 3.8 días y se convierte, por emisión de partículas alfa en un isótopo del Polonio.



Los productos de desintegración del Radón son isótopos radiactivos de materiales pesados, como Polonio, Bismuto y Plomo, que se desintegran emitiendo partículas alfa y mediante emisión beta y gamma.

Los productos de desintegración se dividen en dos grupos:

A) Los llamados de vida corta, que son:

^{218}Po (3.05 min.)

^{214}Pb (26.8 min.)

^{214}Bi (19.7 min.)

^{214}Po (164 s.)

Todos con vidas medias por debajo de los 30 minutos.

B) Los llamados de larga vida:

^{210}Pb (22.3 años)

^{210}Bi (5.01 días)

^{210}Po (138.4 días).

Esto lo podemos ver en el siguiente diagrama:

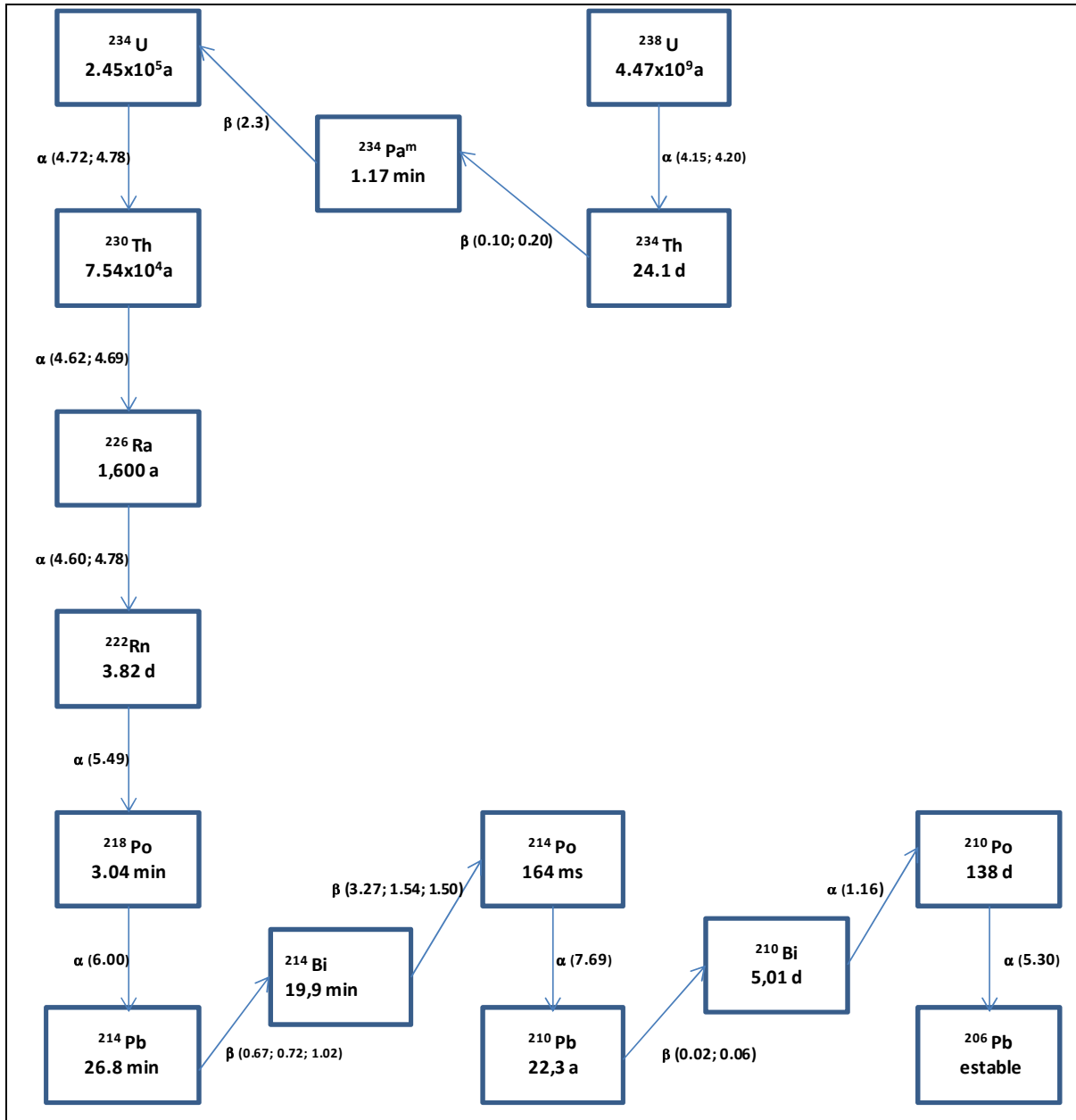


Figura 1.1 Cadena de desintegración del ^{238}U y productos de desintegración. En el recuadro se dan los períodos de semidesintegración de los diferentes radionúclidos. Las energías de las partículas α y β vienen expresadas en MeV^{6,7}

⁶ Nero A, *et al.* Indoor Radon and Decay Products: Concentrations, Causes, and Control Strategies. 1990. (Washington: U.S. Department of Energy Office of Health Environmental Research).

⁷ El **electrón-volt** (símbolo **eV**) es una unidad de energía que representa la energía cinética que adquiere un electrón cuando es acelerado por una diferencia de potencial de 1 volt. Equivale a $1,602176462 \times 10^{-19}$ J, obteniéndose este valor de multiplicar la carga del electrón ($1,602176462 \times 10^{-19}$ C) por la unidad de potencial eléctrico (V).

PROPIEDADES DEL RADÓN

El Radón en sus estados líquido y gaseoso es incoloro, pero en su estado sólido muestra una coloración rojo-naranja, la cual se le atribuye a la presencia de defectos cristalinos originados por la desintegración de sus átomos.⁸

En la tabla 1.1 podemos ver las propiedades físicas y químicas del Radón:

Tabla 1.1 Valores de las Propiedades

Masa Atómica	(222,0176) uma
Punto de Fusión	-71 °C
Punto de Ebullición	-61,8 °C
Densidad	0,0097 g/cm ³
Conductividad Térmica	0,00 J/m s °C
Conductividad Eléctrica	0,0 (mOhm.cm)-1
Calor Específico	2890,00 J/kg °K
Calor de Vaporización	18,1 kJ/mol
Calor de Atomización	0,0 kJ/mol de átomos
Estados de Oxidación	0
1ª Energía de Ionización	1037 kJ/mol
2ª Energía de Ionización	1930 kJ/mol
3ª Energía de Ionización	2890 kJ/mol
Afinidad Electrónica	-41 kJ/mol
Radio Atómico	1,34 Å
Volumen Atómico	50,5 cm ³ /mol
Polarizabilidad	5,3 Å ³

⁸Garzón, Ruiperez León. El Radón y sus Riesgos, p. 77.

Otros datos físicos muy relevantes del Radón son ^(UNSCEAR 1982):

Tabla: 1.2 Valores de las Propiedades

Coeficiente de difusión en el aire	$0.1 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$
Viscosidad (20 °C y 1 ° atmósfera)	$229 \times 10^{-6} \text{ poises}$
Solubilidad a 1 atm. de presión parcial y 20 °C:	agua: $230 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$
	glicerina: $13.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$
	aceite: $29 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$
	alcohol etílico: $7.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$
Entalpia de vaporización	696.6KJ/mol
Entalpia de fusión	26.4KJ/mol

EFFECTOS NOCIVOS EN LA SALUD

El Radón se produce en el subsuelo; por su estado gaseoso, viaja libremente hacia la superficie a través de las grietas. Por ser soluble en agua, puede viajar también a través de los ríos o corrientes subterráneas. Una vez liberado en la atmósfera se adhiere a las moléculas aire y es respirado. La concentración promedio al aire libre es relativamente baja y no representa riesgo a la salud. Sin embargo, al introducirse en edificios o viviendas, puede acumularse en concentraciones significativas que pueden ser nocivas para la Salud.

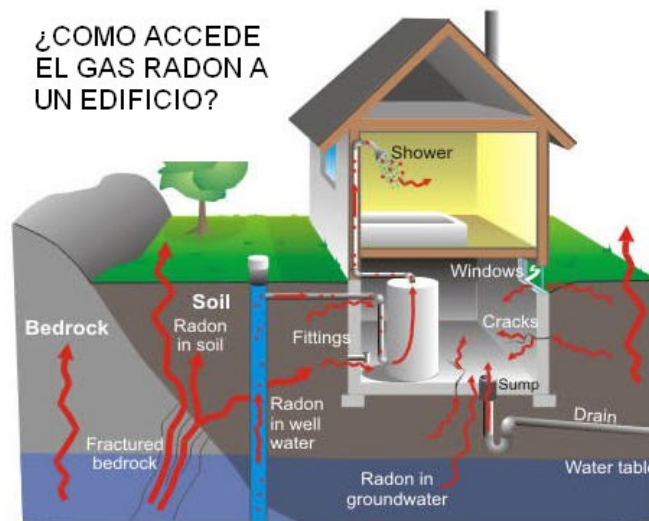


Figura 1.2 Emanación del Radón del subsuelo hacia la atmósfera

El Radón es un gas radiactivo que, con su descomposición, emite partículas alfa (α) para formar el Polonio, que también es un elemento radiactivo, éste se produce una vez que el Radón se encuentra en el aire y/o en los pulmones del ser humano cuando lo respira con lo que se puede alterar el ADN de las células pulmonares e incrementar el riesgo de crear cáncer pulmonar.

Las partículas alfa (α) que el Radón emite dañan predominantemente los tejidos del pulmón. Las partículas inhaladas quedan atrapadas en los pulmones y al permanecer en ellos, provocan ionizaciones o excitaciones y al depositar su energía, pueden dañar los tejidos y causar cáncer.

En términos de la cantidad calculada de casos de cáncer que causa anualmente, el Radón es una de las sustancias tóxicas más peligrosas. A diferencia de otros tóxicos, casi siempre es de origen natural; las dosis que recibe el ser humano están determinadas por el lugar que habita, la forma en que está diseñada la vivienda y los hábitos que tiene. El Radón contribuye al problema de contaminación del aire en interiores; en exteriores está muy diluido en la atmósfera y por ello representa un riesgo menor.

La razón por la que el Radón es nocivo para nuestra salud, es porque la radiación que emite produce radicales libres. Los radicales libres son átomos que actúan en forma caótica debido a su inestabilidad. Dicha inestabilidad está causada por la pérdida de un electrón en la última orbita. Esto hace que los átomos inestables (radicales libres) busquen y tomen electrones de otras moléculas; al tomar un electrón de ciertos componentes claves de la célula, tales como las moléculas de grasa, de proteína o de ADN los radicales libres dañan a las células y, como consecuencia de esto, genera alguna enfermedad. La mayoría de los investigadores especialistas en los radicales libres consideran que pueden causar el 90% de todas las enfermedades degenerativas.⁹

⁹ Solórzano del Río, Héctor. Una Amenaza radiactiva Invisible: El Gas Radón.

Si además de la contribución del Radón para contaminar el aire, le añadimos el hecho de que el ser humano tiene el hábito de fumar y su casa no es debidamente ventilada, las probabilidades de contraer cáncer de pulmón son mayores. Cuanto mayor sea el nivel de radón existente mayor es el riesgo de cáncer de pulmón. Recientes estudios revelan que el riesgo de cáncer aumenta un 16% por cada 100 Bq/m³. El fumar cigarrillos aumenta la probabilidad de desarrollar cáncer de pulmón, debido a que muchos de los productos de decaimiento del radón se adhieren a los productos del tabaco.

En los siguientes recuadros podemos apreciar las probabilidades de contraer cáncer de pulmón si se es fumador o no.

Tabla 1.3 Niveles promedio de Radón y riesgos a la salud para no fumadores

Riesgo que presenta el radón si usted no fuma		
Nivel de radón	Si 1.000 personas que no han sido fumadores se vieran expuestas a este nivel de radón durante toda la vida,	El riesgo de contraer cáncer por exposición al radón es comparable a
750 Bq/m³	unas 8 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- El riesgo de ser asesinado en un crimen violento
370 Bq/m³	unas 4 personas podrían contraer cáncer de pulmón	
300 Bq/m³	unas 3 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- 10 veces el riesgo de morir en un accidente aéreo
150 Bq/m³	unas 2 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- El riesgo de ahogamiento
75 Bq/m³	aproximadamente 1 persona podría contraer cáncer de pulmón	<-- El riesgo de morir en un incendio en la vivienda
50 Bq/m³	menos de 1 persona podría contraer cáncer de pulmón	(Nivel promedio de radón en el interior)
15 Bq/m³	menos de 1 persona podría contraer cáncer de pulmón	(Nivel promedio de radón en el exterior)

Tabla 1.4 Niveles promedio de Radón y riesgos a la salud para fumadores

Riesgo que presenta el radón si es usted fumador		
Nivel de radón	Si 1.000 personas que han sido fumadores se vieran expuestas a este nivel de radón durante toda la vida,	El riesgo de contraer cáncer por exposición al radón es comparable a
750 Bq/m³	unas 135 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- 100 veces el riesgo de morir ahogado
370 Bq/m³	unas 71 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- 100 veces el riesgo de morir en un incendio en la vivienda
300 Bq/m³	unas 57 personas podrían contraer cáncer de pulmón	
150 Bq/m³	unas 29 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- 100 veces el riesgo de morir en un accidente aéreo
75 Bq/m³	unas 15 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- 2 veces el riesgo de morir en un accidente de tránsito
50 Bq/m³	unas 9 personas podrían contraer cáncer de pulmón	(Nivel promedio de radón en el interior)
15 Bq/m³	unas 3 personas podrían	(Nivel promedio de radón en el exterior)
Nota: Si es usted un ex fumador, su riesgo puede ser menor que el de alguien que fuma.		

(Fuente: Agencia de protección ambiental de EEUU)

CAPÍTULO 2 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA DELEGACIÓN XOCHIMILCO¹⁰

La delegación Xochimilco tiene una superficie de 125.17 Km² mismos que representan el 8.4% de la extensión total del DF. Colinda con las delegaciones Iztapalapa al norte y al noreste, Milpa Alta al Sur y sureste, Tlahuac al este y Tlalpan al oeste y noreste. Xochimilco está integrado por 17 barrios localizados en la cabecera delegacional, 14 pueblos, 45 colonias, 20 unidades habitacionales, 6 ejidos y 4 tierras comunales.

El sistema orográfico de Xochimilco se puede dividir en tres zonas: El norte de la sierra del Ajusco, entre los cerros Teuhtli y Tzompole. Las principales elevaciones son, de este a oeste, Teutli, Teoca, Tlamacaxco, Tohuca, tzompole y Tlamapa. La segunda zona es la parte media oeste entre Tlalpan y Xochimilco cuenta con los cerros Tehuanpaltepetl, La Cantera, Tetequilo, Santiago y Xochitepec; esta dos zonas están entre los 3,200 y 2,300 M.S.N.M. La tercera zona es la llanura formada por depósitos aluviales y lacustres donde se encuentran los cerros Moyotepec, Xilotepec y La Noria, en la que se encuentra el área chinampera hasta los 2,250 M.S.N.M. La zona de llanura, especialmente la zona chinampera, se encuentra dividida en 3 zonas principales: Xochimilco, San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemalco, que ocupan una superficie de 1024 Has aprox.

La composición del suelo, por regiones, puede clasificarse de la siguiente manera:

- Zona Lacustre: Suelo areno-arcilloso y francos; en materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio; presentan problemas sodicidad y salinidad.
- Zona Cerril o alta: Migajón arenoso, como resultado de procesos de erosión, contienen poca materia orgánica y algunas deficiencias de nitrógeno y fósforo.

¹⁰ INEGI, Anuario estadístico del Distrito Federal 1993.

En general, tenemos la siguiente distribución, (% superficie delegacional):

- Feozem 79.48%
- Andosol 9.98%
- Litosol 7.67%
- Solonchak y Cambisol 3%

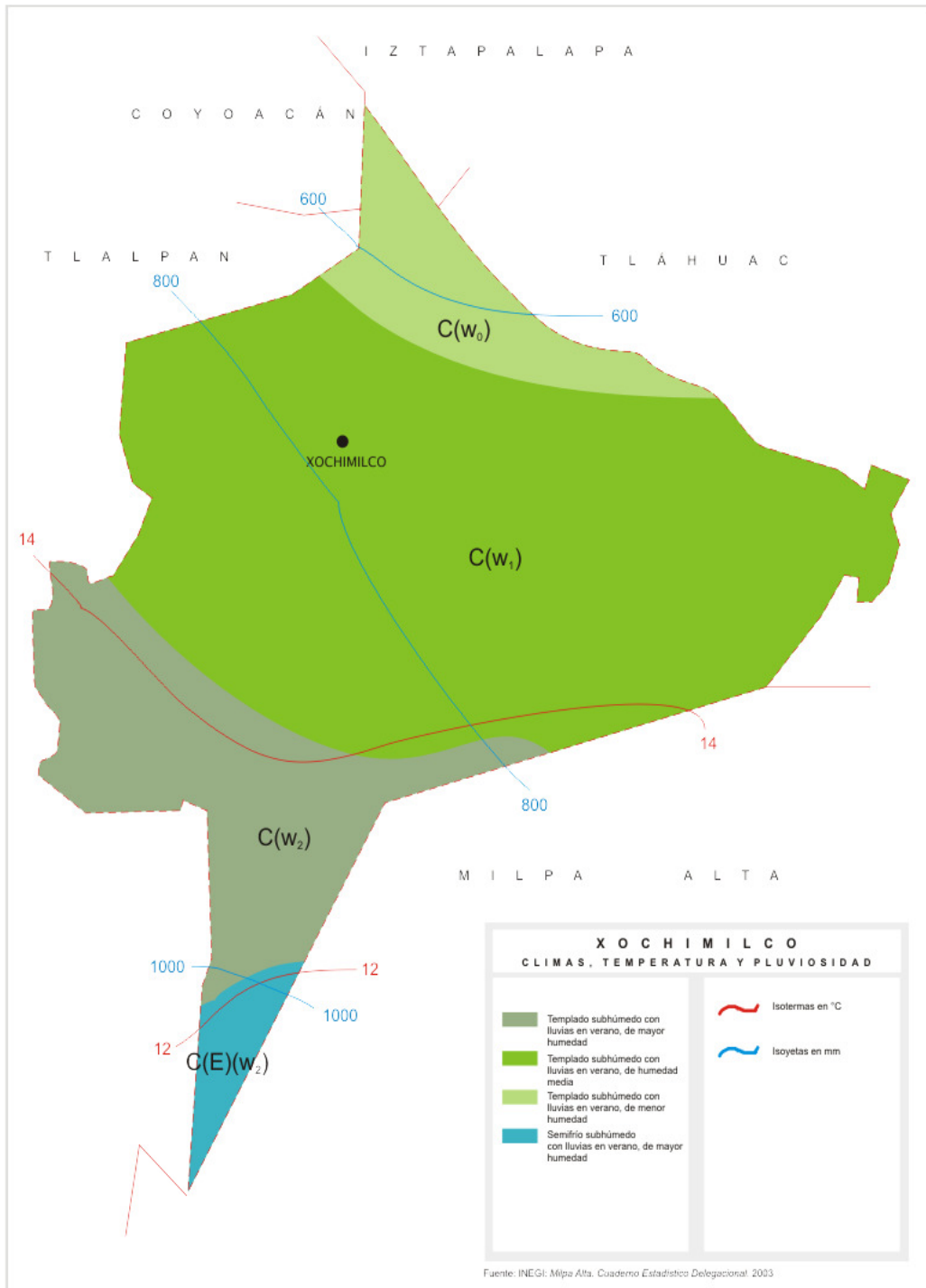
La delegación cuenta con tres corrientes intermitentes principales que bajan de las Laderas del Ajusco y del Cuauhtzin y una permanente, que en la actualidad sirve de límite Delegacional y es usada para conducir aguas negras, las cuales son: Rio Santiago, Rio San Lucas, Rio San Gregorio. La importancia hidrológica de Xochimilco la componen los canales que limitan las chinampas y las comunican entre sí. Los principales canales son: Cuemanco, Apatlaco, Nacional, Del bordo, Japón y el Canal de Chalco.

El clima de Xochimilco, según la clasificación de Kuppen, es Cw Templado lluvioso; con dos subtipos: Cwb (templado subhúmedo) en la llanura y región baja de los declives y Cwc (templado con invierno frío) en las partes altas. La temperatura media anual es de 22°C, la máxima promedio de 23.9°C y la mínima promedio de 9.2°C. La época de lluvias tiene lugar principalmente en verano y otoño, con una media anual de 859mm.

Entre los principales recursos naturales con los que cuenta Xochimilco se encuentran:

- el subsuelo, que tiene las reservas de agua más importantes del valle de México;
- sus 189 Km de canales;
- el área boscosa en la zona de la montaña;
- el agua tratada para la agricultura en cantidades que superan los 1,200 l/s.
- el nuevo parque ecológico cuya función no solo es de atractivo turístico sino que contribuye a regular los excedentes de agua de la zona lacustre, además de reactivar la producción agrícola mediante el sistema hidroagrícola tradicional de las chinampas.

Diagrama 2.1 Tipo de clima, temperatura y pluviosidad.



En Xochimilco el uso del suelo es predominantemente agrícola que representa el 58.4% de su superficie territorial, le sigue en magnitud el habitacional que junto con los espacios abiertos, usos mixtos, asentamientos urbanos y equipamiento, representan el 18.9% , y el 22.7% restante se destina al uso industrial, Pecuario,

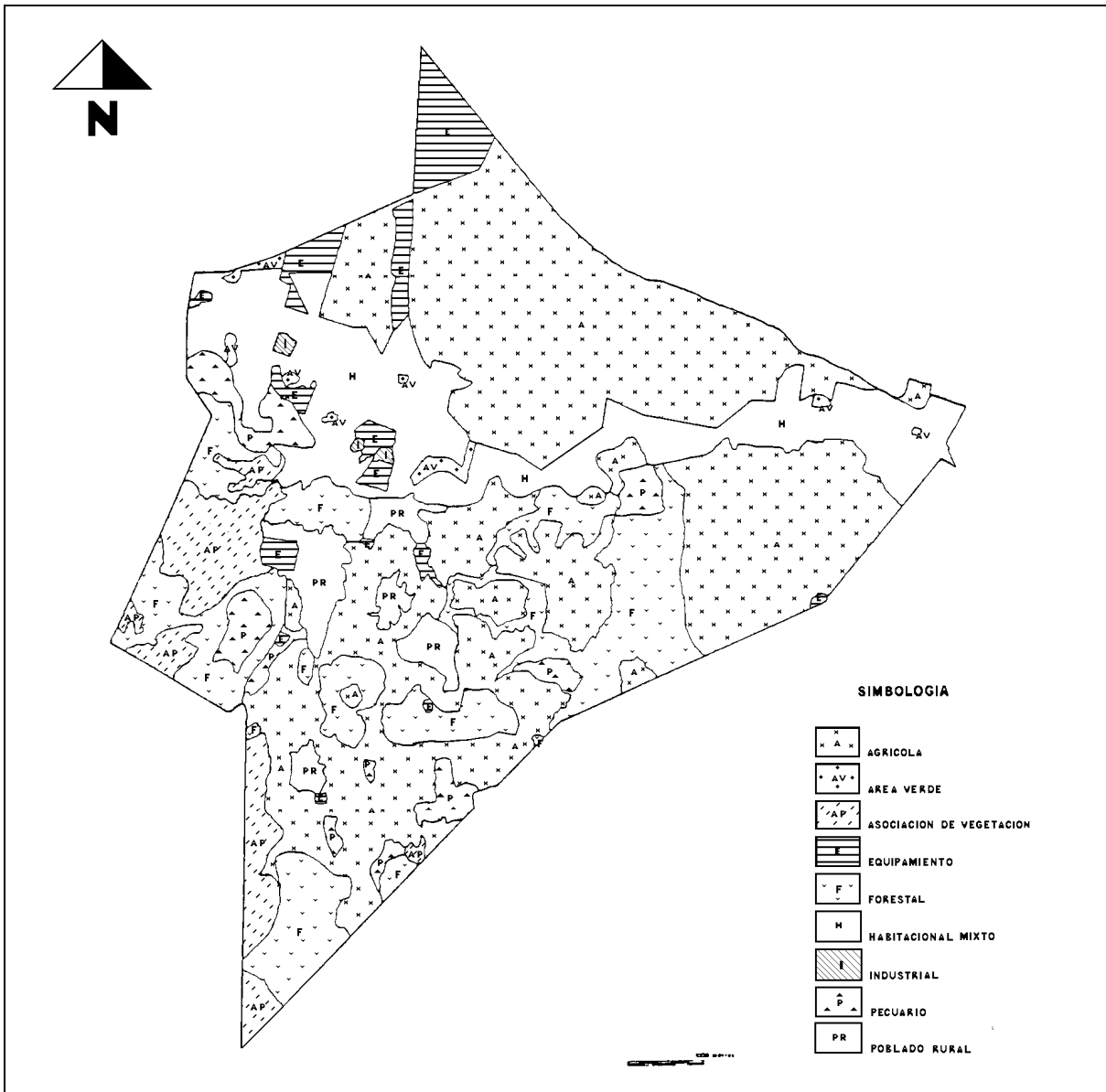
forestal y equipamiento urbano. La comparación con la distribución del uso de suelo en el D.F. se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Distribución de uso de Suelo en Xochimilco-DF

	AGRICOLA	PECUARIO	FORESTAL	INDUSTRIAL	EQUIPAMIENTO URBANO	HABITACIONAL Y OTROS
XOCHIMILCO	58.4%	8.0%	13.6%	0.9%	0.2%	18.9%
D.F.	12.9%	2.5%	34.2%	2.0%	4.4%	44.0%

Fuente: Anuario estadístico del Distrito Federal 1993, INEGI.

Diagrama 2.2 Uso de suelo predominante.



CAPÍTULO 3 INSTRUMENTACIÓN.

Para la determinación de gas radón en interiores de casas-habitación en la delegación Xochimilco se utilizaron, el sistema E-PERM, utilizando electretos pasivos de corto y largo plazo y el dosímetro termoluminiscente (TLD) para la medición de radiación γ .

EL ELECTRETO

El sistema E-PERM consta de tres componentes: (1) Un disco de teflón cargado electrostáticamente, llamado electreto, el cual colecta iones; (2) una cámara iónica fabricada de plástico eléctricamente conductor dentro de la cual, el electreto es colocado y; (3) un lector para medir la carga de la superficie del electreto (voltaje)¹¹. El electreto desempeña dos funciones, tanto como una fuente de colección de iones de alto voltaje, como un sensor¹². Ellos son dispositivos pasivos que no requieren energía para funcionar, emplean el electreto para recoger e integrar los iones generados por el Radón y el número de iones recolectados determina la concentración de radón en el lugar donde se encuentra en el periodo de exposición. Estos tres componentes son necesarios para realizar mediciones de radón en interiores.

El electreto usado en el sistema E-PERM es un disco de teflón de politetrafluoretano (PTFE) el cual ha sido cargado electrostáticamente por un proceso especial que retiene la carga permanentemente. Existen varios tipos de electretos con diferentes características las cuales son identificadas por etiquetas de colores diferentes¹³.

¹¹ E-Perm[®] System Manual, Rad Elec. Inc. E-PERM System, 1991, Maryland, U.S.A. Part 1, p. 1.

¹² Morales Balderas Omar Yhair. Radiación gamma, niveles de radón sus descendientes y factores de equilibrio en la zona metropolitana de Guadalajara Jalisco. Tesis Maestria.2008, p. 66.

¹³ E-Perm[®] System Manual. *Op. cit.*

Los electretos de corto plazo (para mediciones de 2 a 7 días) con 0.152 cm de espesor, tienen una alta sensibilidad y son identificados por una etiqueta azul o verde y se caracterizan por tener un disco blanco.

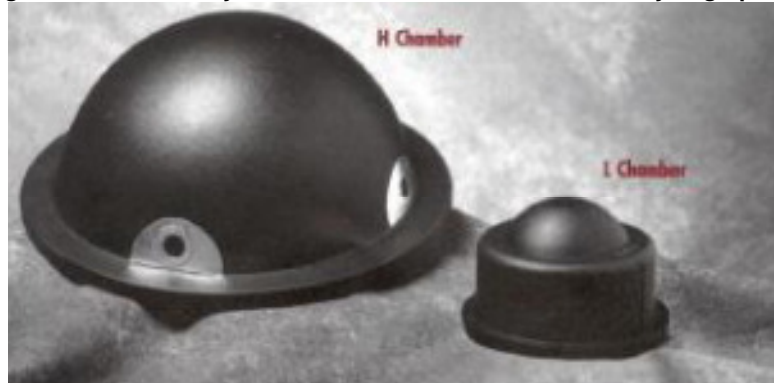
Los electretos de baja sensibilidad que son usados principalmente para mediciones de largo plazo (para mediciones de 1 a 12 meses), son identificados por una etiqueta roja y tienen un disco negro o plateado. Cada electreto es identificado también por un código de barras único pegado debajo de la placa del electreto.

Figura 3.1 Identificación de los diferente electretos



EL sistema E-PERM maneja tres presentaciones de cámaras con volúmenes diferentes, en este caso solo describiremos dos de ellas; la cámara “L” y “H”.

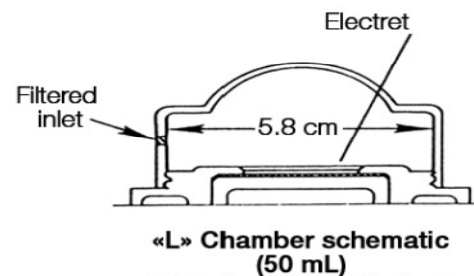
Figura 3.2 Cámara H y L utilizadas en mediciones de corto y largo plazo



En la cámara conocida como cámara iónica del electreto, el gas radón es diseminado a través de unos pequeños orificios con unos filtros, estos filtros permiten la entrada de radón por difusión, los filtros impiden que los iones y partículas fuera de la cámara entren en ella, el tamaño pequeño de los huecos del filtro impiden también la entrada del 90% del torón atmosférico.¹⁴

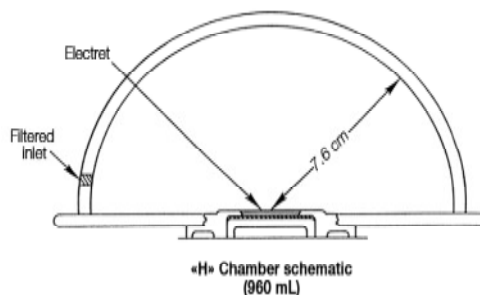
La cámara “L” es una cámara de volumen pequeño (50 ml) que se emplea para mediciones de radón en un largo periodo, es de bajo costo y no tiene un sistema de encendido/apagado por lo que los electrones empiezan a medirse desde la instalación del aparato. Las dimensiones de ésta cámara son: 5.8 cm de diámetro y 4.3 cm de altura. En la cámara se utilizó un electreto de largo plazo que es de color rojo.

Figura 3.3 Características de la cámara “L”



La cámara “H” es una cámara de 960 ml de volumen, tiene 7.6 cm de altura y 15 cm de diámetro.

Figura 3.4 Características de la cámara “H”



¹⁴ Morales Balderas Omar Yhair. *Op. Cit*, p. 69.

LECTOR DEL ELECTRETO.

El lector del electreto se conoce con el nombre de SPER-1 y es un instrumento electrónico usado para la medición del potencial de superficie (Voltaje) de un electreto. El cambio en el voltaje de la superficie de un electreto durante un determinado tiempo de exposición es una medición de la concentración integrada de radón en la cámara E-PERM durante ese periodo.

El lector SPER-1 opera al colocar una cara del electreto sobre la ventana circular provista de un obturador, el lector detectará e indicará el voltaje en su pantalla digital como lo podemos apreciar en la siguiente figura.

Figura 3.5 Lector de Electretos SPER-1



Figura 3.6 Electretos de Referencia



Para asegurar el desempeño del lector SPER-1, se suministran dos electretos de referencia y de largo plazo para verificar la medición. Es importante mantener registros que demuestren el desempeño del lector para propósitos de comprobación de calidad.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS DOSÍMETROS

Para la determinación de radiación, γ utilizamos el dosímetro termoluminiscente (TLD, por sus siglas en inglés), por lo que es importante mencionar que la dosimetría termoluminiscente (TLD), es un método eficaz que permite medir la cantidad de radiación recibida en un momento o intervalo de tiempo dado, ya sea largo o corto. Los dosímetros TL son sólidos cristalinos que después de ser expuestos a la radiación proporcionan información acerca de la energía depositada por medio del fenómeno de termoluminiscencia. La radiación provoca que queden atrapados en sitios de la red cristalina del sólido; al calentar los cristales irradiados nuevamente los electrones regresan a su estado base emitiendo una cantidad de luz que es directamente proporcional a la cantidad de radiación recibida.

Existen diversos métodos para medir la dosis absorbida. Estos métodos se clasifican en absolutos y secundarios. Un dosímetro se considera absoluto si se puede construir y usar en forma subsecuente para medir la energía absorbida sin necesidad de calibrarlo en un campo de radiación conocido; entre los métodos absolutos para medir la dosis se cuentan la calorimetría y la ionización de gases. Los dosímetros secundarios deben ser calibrados para medir la energía absorbida, se cuentan con dosímetros químicos y de estado sólido.¹⁵

La dosimetría de estado sólido ha sido ampliamente usada, en especial el método de termoluminiscencia (TL), el cual permite efectuar mediciones precisas. La

¹⁵ Calvo Fernández Blanca Esthela, Preparación de BaSO₄ con diferentes activadores para dosimetría de la radiación ionizante. Tesis, p. 22-23

dosimetría TL presenta ventajas respecto a otros métodos de dosimetría ya que exhibe las siguientes características:

- ° No necesita empaque especial
- ° Cubre un amplio intervalo de dosis
- ° Son casi equivalente al aire y al tejido (los más usuales)
- ° Retiene la información por mucho tiempo
- ° No necesitan conexiones entre el dosímetro y el equipo electrónico asociado
- ° Son sensibles a casi cualquier tipo de radiación
- ° Son utilizados para varias determinaciones
- ° Son fácil de preparar en el laboratorio
- ° Son pequeños, de fácil ubicación y baratos¹⁶

El monitoreo para la determinación de los niveles de exposición de radiación de Radón se llevó a cabo en 25 domicilios dentro de la delegación Xochimilco, para lo cual utilizamos dosímetros termoluminiscentes de $\text{CaSO}_4: \text{Dy} + \text{PTFE}$.

Los dosímetros utilizados están contruidos de politetrafluoretileno ($\text{CaSO}_4: \text{Dy} + \text{PTFE}$), y tiene forma de pastilla de alrededor de 1.5 cm de diámetro, tiene un peso que varía entre los 28 mg como mínimo hasta los 35.5 mg como máximo teniendo la mayoría un peso cercano a los 32mg y 33 mg. El peso promedio de la pastilla es de 33.15mg. Los dosímetros que se utilizaron para la medición los proporcionó el ININ

El muestreo se llevó a cabo durante un año en cuatro periodos de 3 meses cada uno (cada periodo abarcó una estación del año). La selección de los domicilios se hizo al azar y tratando que cubriera toda la delegación con el fin de que la muestra fuera significativa, además se realizaron 3 determinaciones por duplicado y 3 determinaciones en exteriores con el fin de medir la variabilidad en la medición del material de los dosímetros. Los dosímetros fueron expuestos a una altura

¹⁶ *Idem*, p. 24.

promedio de 1.75m sobre el nivel del piso, todas las mediciones se llevaron a cabo en la planta baja de las viviendas con el fin de uniformizar la información, sin embargo, debido a las características de 5 de las viviendas y del terreno, fue que esas mediciones se realizaron por niveles abajo (3 mediciones, una de ellas fue duplicada) y arriba (3 mediciones) del nivel de la calle; 16 de estas determinaciones se realizaron en zona lacustre y 15 de ellas en zona cerril.

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE ²²²Rn.

Como se mencionamos anteriormente para la medición de la concentración de radón, utilizamos el sistema E-PERM con cámara “L” (electreto de largo plazo) y cámara “H” (electreto de corto plazo), en los cuales tomaremos en cuenta un voltaje inicial V_i que será la lectura de voltaje de los electretos de las cámaras antes de la exposición y una lectura de voltaje final V_f , después de la exposición de los electretos de las cámaras en la casa-habitación. Estos voltajes se utilizarán en la siguiente ecuación de cálculo de la concentración de radón para ambas cámaras:

$$C_{Rn} = \frac{(V_i - V_f)}{(T * CF)} - BG * E \quad (1)$$

Donde:

C_{Rn} = concentración de Radón, en pCi/l

T= periodo de exposición, en días

V= voltaje inicial (i) y final (f) de los electretos, en volts

CF= factor de calibración, en volt por pCi día/l

E= factor de conversión de radiación gamma natural en (pCi/l)/(μR/h)

BG= concentración de radón equivalente a la radiación gamma natural (fondo gamma en μR/h.

Un BG (background) de 11.5 μR/h es equivalente a 0.865 pCi/. Puede hacerse una corrección lineal para adecuar otros valores de BG. El factor E varía con el tipo de cámara como se muestra en la siguiente tabla:¹⁷

¹⁷ Morales Balderas Omar Yhair, *op. cit.*, p. 83

Tabla 3.1 Valores de E para los diferentes tipos de cámara¹⁸

BG (μR/h)	E (pCi/l)	Cámara
1	0.087	S
1	0.07	H
1	0.12	L

Para calcular el factor de calibración CF se emplea la siguiente ecuación:

$$CF = A + B * \frac{(V_i - V_f)}{2} \quad (2)$$

Donde:

A y B son constantes para una particular configuración de E-PERM. En este caso para la configuración de la cámara L con electreto de largo plazo (rojo), y con sus correspondientes valores de sus constantes la ecuación (2) queda:

$$CF = 0.2723 + 0.000012795 * \frac{(V_i - V_f)}{2} \quad (3)$$

Para la configuración de la cámara H con electreto de corto plazo (azul), con sus valores de sus constantes, la ecuación (2) queda:¹⁹

$$CF = 8.106 + 0.00477 * \frac{(V_i - V_f)}{2} \quad (4)$$

CORRECCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ²²²Rn POR EL FACTOR DE ALTURA.

Las cámaras de ionización del sistema E-PERM utilizadas responden a la radiación gamma y es necesario hacer una corrección cuando son usadas a presiones atmosféricas diferentes de la presión atmosférica a nivel del mar, en la

¹⁸ E-Perm[®] System Manual, Rad Elec. Inc. E-PERM Software Manual, 1993, Maryland, U.S.A., p. 8

¹⁹ E-Perm[®] System Manual. Op. cit., Appendix 3, p. 1

cual, las unidades son calibradas. Tales factores de corrección están en proporción directa con la razón de presión.²⁰

En la siguiente tabla podemos ver el factor de corrección de altura para las colonias monitoreadas en la delegación Xochimilco:

Tabla 3.2 Alturas sobre el nivel del mar en las colonias de Xochimilco

COLONIA	M.S.N.M	FACTOR DE CORRECCIÓN POR ALTURA
Santa Inés	2360	1.3938
San Mateo Xalpa	2365	1.3938
San Lucas Xochimanca	2270	1.3635
San Andrés Ahuayucán	2430	1.3938
Santa Cecilia Tepetlapa	2480	1.4241
Santiago Tepalcatlalpan	2260	1.3393
San Gregorio Atlapulco	2247	1.3393
Santa Cruz Alcapixca	2242	1.3393
Tulyehualco	2247	1.3393
San Luis Tlaxialtemalco	2250	1.3393
San Marcos	2245	1.3393
San Bernardino	2242	1.3393
Xaltocán	2245	1.3393
San Antonio	2245	1.3393
San Lorenzo Atemoaya	2323	1.3938
Santa Cruz Xochitepec	2250	1.3393

²⁰ Morales Balderas Omar Yhair, *op. cit.*, p. 73

Para hacer dicha corrección se utilizó la siguiente ecuación para el caso de la cámara L:

$$C = 1 + \frac{4.617 \cdot H}{30480} \quad (5)$$

Donde:

H= elevación en m.

C= factor de corrección

Para la cámara H, hasta alturas de 2450 MSNM el valor para corrección de altura no es significativo. Para alturas mayores de 2450 MSNM no hay datos de referencia por lo cual se mantuvo igual la concentración.

CÁLCULO DEL ERROR ALEATORIO TOTAL DEL SISTEMA E-PERM.

Para poder calcular el error aleatorio total del sistema E-PERM debemos calcular los siguientes errores:

Error 1 (E1): asociado con el volumen de cámara, el espesor del electreto y otros parámetros de la cámara,

Error 2 (E2): asociado con la lectura de los electretos,

Error 3 (E3): asociado con la incertidumbre de la radiación gamma natural o fondo gamma.

Para E1, se le ha medido experimentalmente y calculado en un 5%

Para E2, existe una incertidumbre de hasta 1 Volt en las lecturas inicial y final de los electretos para el intervalo de medida. Como el error en las diferencias de las dos lecturas es de 1.4 Volts, es decir la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los errores de 1 Volt el porcentaje de error es:

$$E2 = \frac{100*1.4}{(V_i - V_f)} \quad (6)$$

Para E3 se toma como base que el error en el cálculo del fondo gama es de $\pm 10\%$. Para el cálculo del error en la concentración de Radón, el valor de A es igual a 0.1 pCi/l . La ecuación para calcular el error por radiación gamma es:

$$E3 = 100 * \frac{A}{C} \quad (7)$$

Donde:

C = concentración de Radón corregida por factor altura (en pCi/l)

Obtenidos E1, E2 y E3 calculamos el Error Total, ET utilizando la siguiente ecuación:²¹

$$ET = \sqrt{E1^2 + E2^2 + E3^2} \quad (8)$$

²¹ E-Perm[®] System Manual. *Op. cit.*, Section 8, p 1-3.

CAPÍTULO 4 FACTORES QUE ALTERAN LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE ²²²Rn.

Son diversos los factores que alteran la concentración de Radón, cuando dicho elemento queda atrapado en algún lugar cerrado como una cueva, una mina un sótano o una casa, ya que dicha concentración puede aumentar considerablemente y causar daño a los seres vivos; por ejemplo las minas de Uranio son las que generan mayor cantidad de Radón, aunque otros tipos de minas, en sus túneles subterráneos atrapan gran cantidad de éste elemento.

La presencia del Radón en el ambiente varía según el tipo de suelo. Los terrenos graníticos, los yesos fosfatados (utilizados como material de construcción y ricos en Radio) y los terrenos uraníferos, presentan los niveles más altos de éste gas. El Radón se cuela a las casas a través de grietas y resquicios en las paredes, las canalizaciones, el agua y a veces procede de los materiales con que está construida la casa.

La gran mayoría de los materiales que el hombre utiliza en la construcción de casas-habitación proceden de elementos que existen en la corteza terrestre, los cuales serán radiactivos en mayor o menor grado, dependiendo de su naturaleza y procedencia. Los isótopos radiactivos presentes en los materiales de construcción son principalmente los de Uranio, Torio, los descendientes de ambos y el Potasio-40 (⁴⁰K). Como consecuencia, la persona que habita en el interior de edificios, se halla sometida a radiación, cuyo valor depende del tipo de materiales empleados.

Estudios realizados muestran que los empleados y las amas de casa pasan 85% y 90% del día, respectivamente, dentro de edificios. En los países con climas extremos, donde se aíslan los recintos para evitar cambios de temperatura, el Radón se incorpora al ambiente del recinto no ventilado y aumenta la concentración de los descendientes del Radón.

Podemos considerar entonces que los factores que alteran las concentraciones de radón en este caso de una casa habitación son: las fuentes posibles de radón existentes en la casa habitación, y los hábitos y costumbres del morador; así como la zona geográfica y clima del lugar.

Las fuentes de radón en una casa-habitación las podemos clasificar como:

a) SUELO

La cantidad de radón existente en el interior de la casa a partir del suelo depende principalmente de la concentración del uranio en el subsuelo y la permeabilidad de éste. En las rocas en las que se encuentran, los átomos de uranio originan radio, pero al ser ambos sólidos ninguno de los dos tiene posibilidad de desplazarse individualmente, si no es junto a la roca o suelo del que forma parte. Sin embargo, los átomos de radón que se forman a partir del radio van a poder desplazarse debido a su carácter gaseoso. Pero este desplazamiento sólo será posible si las condiciones de las rocas y el suelo lo permiten. Las rocas muy fracturadas o suelos muy porosos van a poner poca resistencia al desplazamiento del radón y van a permitir que éste alcance fácilmente la superficie del suelo y penetre en las casas-habitación que se encuentren sobre él. El radón procedente del terreno y de los materiales pasa al aire interior por difusión molecular. Este mecanismo vendrá afectado por la distancia (longitud de difusión) que el radón puede recorrer antes de desintegrarse y que para un suelo normal es de alrededor de 1m. Este proceso puede ser acelerado por las diferencias de presión existentes entre el gas del suelo y el interior de la casa.²²

b) MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

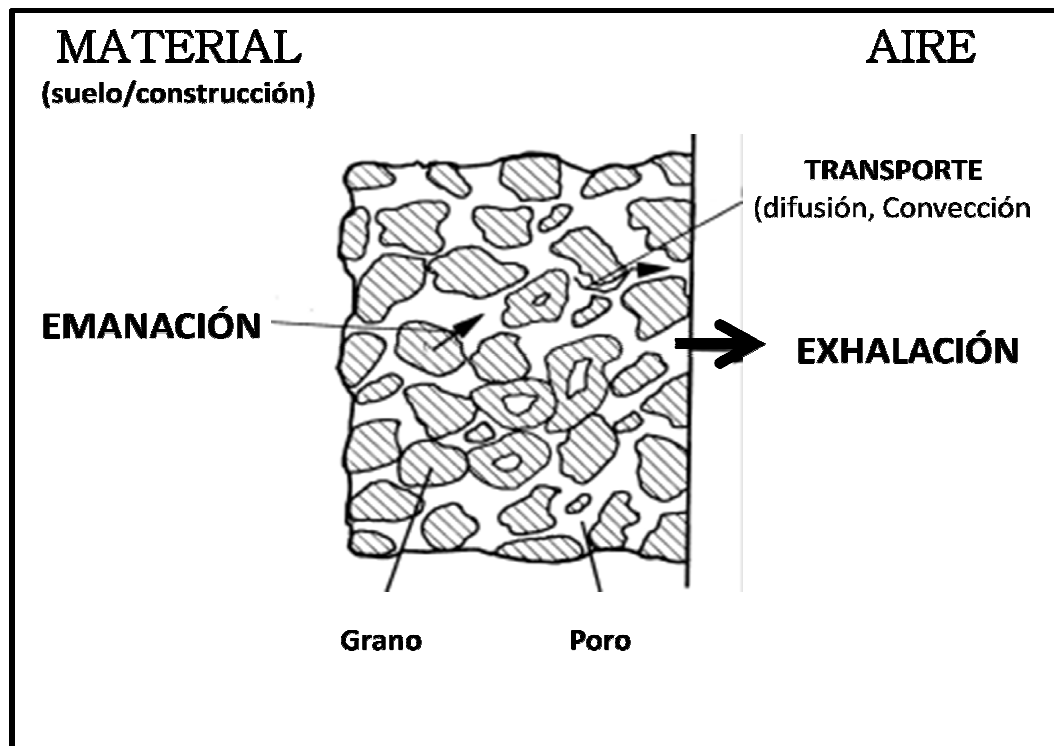
La emisión de radón a partir de los materiales de construcción depende no sólo de la concentración de radio en los mismos sino también de factores

²² AMBISALUD, Hojas informativas Ambisalud HIA-03, Gas Radón, p. 6

tales como la fracción de radón producido que es liberado del material, la porosidad del material y la preparación de la superficie y el acabado de las paredes. Podemos tener altas concentraciones en ladrillos y hormigón si los materiales básicos se han extraído de zonas con elevadas concentraciones de radiación natural. Cuando el contenido en radón de los materiales de construcción es alto el mecanismo de difusión antes mencionado es importante ya que por ejemplo para el hormigón la longitud de difusión es del orden de 10-20cm.²³

Es importante mencionar que el radón es transportado desde los poros del material hasta la superficie del mismo, de tal manera que una determinada fracción alcance la superficie antes de desintegrarse. Esto puede apreciarse en la siguiente figura:

Figura 4.1 Transporte de Radón a través de los materiales de construcción



²³ *Idem*

Los dos mecanismos básicos de transporte de radón son el flujo por difusión molecular, que tiene su origen en las diferentes concentraciones de radón en los distintos puntos de un medio y el flujo por convección, que es producido por cambios de presión.²⁴

Los materiales de construcción proceden directa o indirectamente de materiales de la corteza terrestre que posee contenidos diversos de los radionúclidos naturales. Por esta razón, los ladrillos, cementos, etc., al contener uranio y/o radio del mismo orden que las existentes en la corteza terrestre, son también manantiales de radón y emitirán radón a la atmósfera, contribuyendo al aumento de radón en esta.

Los materiales más utilizados en la construcción de las casas son los áridos (arena), arcillas, la caliza, el yeso y el agua y se catalogan como materiales primarios. Las arenas se encuentran en depósitos llamados areneros o de los cauces de los ríos. Su procedencia es de la erosión de masas graníticas. Las arcillas proceden de igual manera. La diferencia estriba en que las arenas están constituidas casi exclusivamente por cuarzo (SiO_2), y las arcillas de la erosión y transformación química de los feldespatos que constituyen un componente (junto al cuarzo y la mica) de los granitos. Diremos entonces que las arcillas son silico-aluminatos, principalmente de potasio, con cantidades variables de otros elementos como el hierro. La pureza es variable. Las más puras de color blanco son los caolines. Las calizas son rocas de origen químico o biológico y están constituidas por CaCO_3 más o menos puro. El mármol es también CaCO_3 . El yeso se encuentra en forma de masas cristalinas de composición de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

A partir de los materiales primarios antes mencionados se obtienen otros materiales para la construcción tales como el cemento que se obtiene

²⁴ Porstendörfer, J. Properties and behaviour of Radon and Thoron and their Decay Products in the air, 1993, p. 69-183.

calcinando a 1000 °C una mezcla constituida de caliza y arcilla. A su vez el hormigón se obtiene con la mezcla de éste con agua y arena; y el hormigón armado lleva en su interior hierro en forma de barras. Los ladrillos, las viguetas, placas y tejas provienen de arcillas impuras y el color rojizo de éstos materiales se debe a la presencia en la arcilla de hidróxido de hierro.²⁵

En la siguiente tabla se ven los valores de concentración de radio de algunos materiales de construcción, en Bq/kg, de distintos países.

Figura 4.2 Concentración de Radio en materiales de construcción en algunos Países²⁶

	Hormigón	Cemento	Ladrillo	Arena (s)	Arcilla (s)	Cal (s)	Yeso	Basalto	Granito
Hong Kong	98	36	7	44	41		26		180
Dinamarca	13								
Hungría	28								
Noruega	26(18)	30							
U.K.	74(15)	22			52				89
U.S.A.	15	51							
Polonia		(7-26)					26-740		89
Siria		(26-32)	38	(1-23)	29	32	19(2-30)	36(18)	
Yugoslavia	8	48		5	12	9			
Australia		59				15			
Alemania									100
España						32			

(s) rocas sedimentarias.

Los valores entre paréntesis y separados por un guión indican el rango de variación de los valores de [Ra], mientras que un valor seguido de otro solo entre paréntesis indica que solo se tienen referencias de 2 autores

²⁵ Garzón Ruipérez León, Radiactividad y medio ambiente. Universidad de Oviedo. Servicios y Publicaciones, p. 117-118.

²⁶ Robayna, Duque Berta Elvira. Radón en Viviendas de las Islas Canarias Occidentales. Distribución geográfica y Dosimetría. Tesis, p. 34

c) AIRE EXTERIOR.

Por su bajo contenido en radón, el aire actúa como factor de dilución. Sin embargo en zonas con alta concentración de radón en aire y en las casas o edificios construidos con materiales con bajo contenido en radio, el aire exterior puede actuar propiamente como una fuente que aporta radón.

En estos casos, la concentración de radón en el aire está relacionada fundamentalmente con la presión atmosférica, oscilando habitualmente entre unos valores en condiciones estables a nivel general, los niveles más altos se producen durante la noche y con unos valores medios para el radón de 10 Bq/m³ en las zonas costeras y oceánicas

d) AGUA DE CONSUMO.

La utilización para uso doméstico de aguas subterráneas con una elevada concentración de radón, al liberarse éste puede haber un aumento de concentración en el aire, especialmente en cuartos de baño donde al estar el agua caliente y en movimiento el proceso de liberación queda favorecido. Los desagües pueden ser camino de entrada del radón.

El radón presente en el agua se debe a que ciertas rocas que contienen uranio natural, liberan radón al agua subterránea con la que entran en contacto, generando concentraciones más elevadas que en las aguas superficiales debido a que en estas últimas el radón se libera al aire atmosférico con facilidad.

En los sistemas públicos de abastecimiento de agua procedente de aguas superficiales la concentración media de radón suele ser menor que 0.4 Bq/l y si el agua procede de fuentes subterráneas el valor ronda los 20 Bq/l de concentración media.

El valor máximo recomendado por la OMS y La Comisión Europea por debajo del cual no es necesario realizar controles en abastecimientos públicos es de 100 Bq/l requiriendo la toma de acciones reductoras si las concentraciones de radón son mayores a 1000 Bq/l. En este último caso, según distintas fuentes la concentración de 1000 Bq/l en el grifo podría llegar a contribuir en las condiciones más desfavorables, en aumentar la concentración de radón en el aire interior de ciertos espacios en unos 100-200 Bq/m³.²⁷

e) TEMPERATURA.

La temperatura es otro de los factores que modifican la concentración de radón, ya que por ejemplo, en el aumento de la temperatura ambiental que suele suceder en verano, ocurre una disminución en la concentración de radón en el interior de las casas. En verano al haber un aumento de temperatura exterior, los moradores de las casa suelen ventilar con mayor frecuencia sus casa y, por lo tanto se da el intercambio de aire entre el interior y el exterior, lo cual motiva una disminución de la entrada de radón.²⁸

Al haber diferencias de temperatura entre el exterior y el interior de las casas dan lugar a cambios de presión. En verano se produce una despresurización de la vivienda que disminuye el valor de la concentración de radón en el interior.²⁹

f) Viento.

El viento es un factor importante en la variación de la concentración del radón. La disminución de la velocidad del viento produce 2 efectos: por un lado ocasiona una mayor estabilidad en las capas bajas de la atmósfera enriqueciéndolas en su contenido de radón y por el otro, al ser menor la

²⁷ Piedecasa, García Beatriz; *et al.* Radiactividad Natural de los materiales de construcción, p. 39

²⁸ Yu, K. N.; *et al.* A Study of factors affecting indoor Radon properties. 1996, Health Physics, p. 180

²⁹ Cavallo, A.; *et al.* The use of Computed Radon Entry rates to understand Radon Concentrations in Buildings, 1994 Health Physics, p. 179

velocidad del viento, tiene lugar un menor intercambio de aire entre el exterior y el interior, lo que aumenta los valores de concentración de radón en el interior.³⁰

Por otro lado cuando hay vientos fuertes, aumentan las diferencias de presión entre el interior y el exterior de las casas³¹ lo que favorecería la entrada de radón, pero la concentración de radón en la atmósfera disminuye durante periodos de fuertes vientos.³² El aumento en la tasa de intercambio de aire inducido por el viento, extrae aire más rápidamente que lo que suministra el proceso de difusión.

³⁰ Yu, K. N.; *et al. Op. cit.*, p. 180

³¹ Ward, D. C. *et al.* Characterization of ²²²Rn entry into a basement structure surrounded by low-permeability Soil. 1993, Health Physics, p. 3

³² Gadd, Milan S.; *et al.* Partitioning of ²²²Rn Entry into a Structure Surrounded by Soil. 1994, Health Physics, p. 55

CAPÍTULO 5 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Para la medición de niveles de radiación gamma γ y concentración de ^{222}Rn , elegimos 25 viviendas dentro de la delegación Xochimilco, de tal forma que la muestra fuera representativa de toda la delegación. La localización de los Electretos/dosímetros se muestra en la siguiente figura:

Figura 5.1 Localización de los Electretos/Dosímetros en las diferentes colonias de la Delegación Xochimilco



5.1 RADIACIÓN GAMMA

Los datos obtenidos para la radiación gamma (γ) con los dosímetros termoluminiscentes, proporcionados por el ININ, fueron posteriormente leídos en el laboratorio con un equipo analizador marca Harshaw, modelo 4000, acoplado a una computadora, las lecturas de los dosímetros fueron dadas en mR.

Para el cálculo de la dosis equivalente se hizo lo siguiente; tomando como ejemplo una lectura del dosímetro en primavera tenemos:

Días de exposición primavera: 42.02

Lectura del dosímetro primavera: 14.0660 mR

Dividimos: $\frac{14.066\text{mR}}{42.02 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 0.013948 \text{ mR/h}$

Para proporcionar los valores en unidades SI, se hizo la conversión a nGy, tomando en cuenta que:

1 Gy = 100 rad

1 R = 0.87×10^{-2} Gy = 0.87 rad

10^{-3} = mili = m

10^{-9} = nano = n

Por lo tanto:

$$C = 0.013948 \frac{\text{mR}}{\text{h}} * \frac{0.87 \times 10^{-2} \text{ Gy}}{1000 \text{ mR}} = 1.2134 \times 10^{-7} \frac{\text{Gy}}{\text{h}} = 121.34 \frac{\text{nGy}}{\text{h}}$$

Tabla 5.1.1 Resultados de la medición de radiación Gamma (γ) en viviendas de Xochimilco

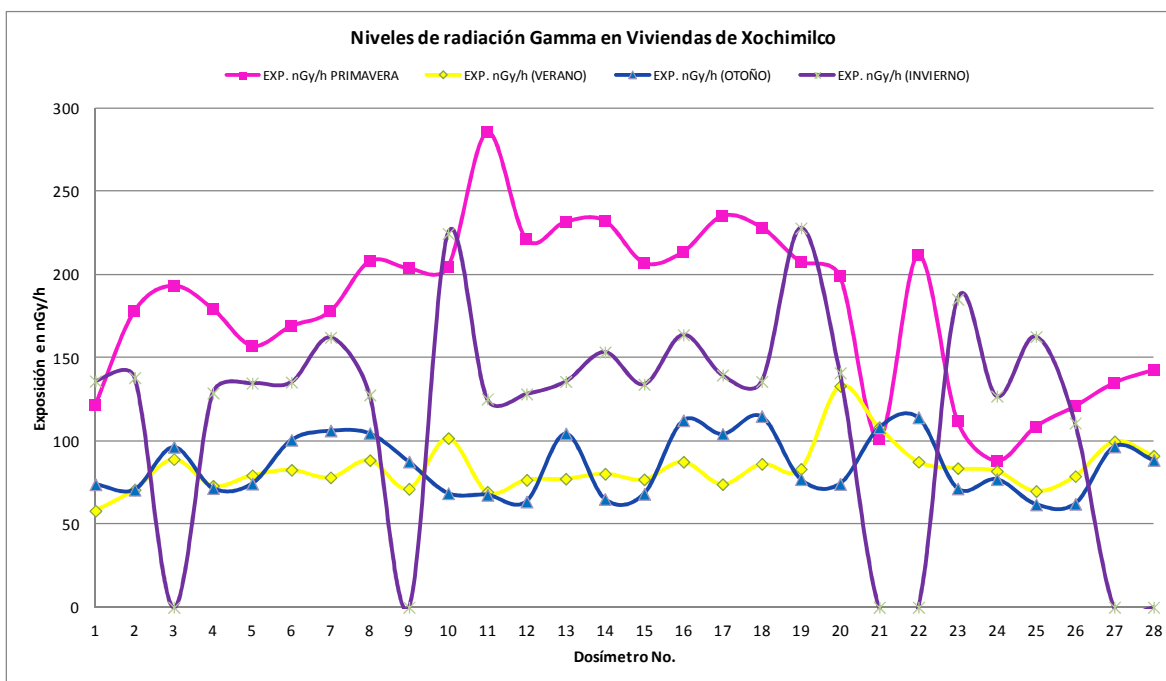
TLD	ALTURA H	DIAS EXP. TOTALES	EXP. nGy/h PRIMAVERA	EXP. nGy/h (VERANO)	EXP. nGy/h (OTOÑO)	EXP. nGy/h (INVIERNO)	PROMEDIO ANUAL μ R/h		PROMEDIO ANUAL nGy/h	
01	2360	285.29	121.34	58.05	73.88	135.98	10.66	0.15	92.75	1.30
02	2360	285.27	177.81	70.65	70.70	138.11	12.03	0.09	104.65	0.76
03	2260	260.22	193.23	89.06	96.33	0.00	11.49	0.24	99.99	2.09
04	2247	263.92	179.25	73.01	71.55	128.76	12.13	0.18	105.52	1.55
05	2247	263.91	157.12	79.39	74.26	134.68	12.21	0.13	106.26	1.12
06	2247	243.35	168.91	82.56	100.58	135.30	13.53	0.14	117.71	1.22
07	2360	235.35	177.81	78.10	106.19	162.22	14.40	0.12	125.29	1.06
08	2368	229.59	207.79	88.42	104.65	127.65	14.31	0.01	124.50	0.05
09	2270	285.84	203.67	71.20	87.60	0.00	11.24	0.28	97.75	2.46
10	2323	265.76	204.60	101.60	68.58	224.64	16.20	0.34	140.96	2.94
11	2250	257.61	285.37	69.32	67.51	125.20	13.15	0.23	114.43	2.01
12	2250	258.00	221.12	76.59	63.53	128.22	12.28	0.09	106.83	0.75
13	2360	233.15	231.67	77.21	104.42	135.72	14.15	0.07	123.09	0.64
14	2264	234.04	232.23	80.23	65.09	153.43	13.24	0.36	115.21	3.12
15	2245	242.20	207.04	76.90	68.18	134.02	12.32	0.17	107.15	1.51
16	2242	200.88	213.56	87.48	112.40	163.78	15.71	0.24	136.64	2.05
17	2242	200.84	235.06	73.95	104.22	139.57	14.52	0.24	126.29	2.08
18	2245	225.06	228.19	86.21	114.90	135.72	14.67	0.18	127.60	1.52
19	2250	222.38	207.62	83.13	77.07	227.91	14.81	0.13	128.86	1.14
20	2250	219.25	198.88	133.03	74.19	140.87	14.37	0.07	125.03	0.61
21	2480	265.12	100.93	108.18	108.14	0.00	12.34	0.16	107.36	1.39
22	2247	256.70	211.65	87.50	114.20	0.00	13.47	0.18	117.20	1.56
23	2263	235.22	111.87	83.55	71.44	185.14	12.69	0.18	110.41	1.52
24	2365	243.61	88.01	81.90	76.96	126.89	10.97	0.14	95.44	1.20
25	2245	224.00	108.56	69.84	61.85	162.72	10.93	0.16	95.07	1.41
26	2360	255.45	120.78	78.80	62.11	110.78	10.17	0.17	88.44	1.48
27	2430	256.08	134.82	99.66	96.63	0.00	11.57	0.32	100.63	2.78
28	2430	258.00	142.60	91.07	88.53	0.00	10.78	0.17	93.75	1.45
Promedio Anual			181.12	83.45	85.20	116.33	12.87	0.18	111.96	1.53
Media Geométrica Anual							12.86	0.15	111.85	1.29
Desviación Estándar							1.62	0.08	14.11	0.72

Los campos sombreados son dosímetros que abarcaron dos de las estaciones de año, es decir otoño e invierno, por lo que, para efectos del cálculo por estación, colocamos la lectura en la estación de otoño.

Tabla 5.1.2 Resultados de la medición de radiación Gamma (γ) en exteriores de viviendas Xochimilco

TLD	ALTURA H	DIAS EXP. TOTALES	PRIMAVERA	VERANO	OTONO	INVIERNO	PROMEDIO ANUAL μ R/h		PROMEDIO ANUAL nGy/h	
1	2250	258.00	177.02	80.47	64.09	132.37	11.90	0.24	103.49	2.04
2	2360	261.29	239.19	73.05	69.89	130.66	12.49	0.06	108.66	0.55
3	2360	233.15	231.69	114.92	147.33	130.70	16.44	0.09	143.00	0.77
Promedio Anual			215.97	89.48	93.77	131.24	13.61	0.15	118.38	1.12
Media Geométrica Anual							13.47	0.11	117.16	0.95
Desviación Estándar							0.42	0.12	21.48	0.81

Figura 5.1.1 Niveles de radiación gamma (γ) para las diferentes estaciones del año en Xochimilco



La principal variación la tenemos en invierno (primavera es un caso especial) como podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 5.1.3 Niveles de exposición a radiación gamma en aire (nGy/h) en las diferentes estaciones del año

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Interiores	181.12	83.45	85.20	116.33
Exteriores	215.97	89.48	93.77	131.24

Podemos observar que en invierno obtuvimos los niveles de exposición más altos, mientras que en verano obtuvimos niveles de exposición más bajos. Los resultados obtenidos en primavera muestran una discrepancia muy significativa en comparación con las otras estaciones.

En la estación primavera, la razón principal de los niveles tan altos es porque, precisamente ahí iniciamos el estudio y no tenemos detalle de cuando fueron borrados los dosímetros antes de colocarlos en las viviendas, por lo que,

probablemente el tiempo de exposición fue mayor, adicionalmente los dosímetros no pertenecían al mismo lote.

Figura 5.1.2 Niveles de radiación gamma (γ) promedio anual en interiores de viviendas en Xochimilco

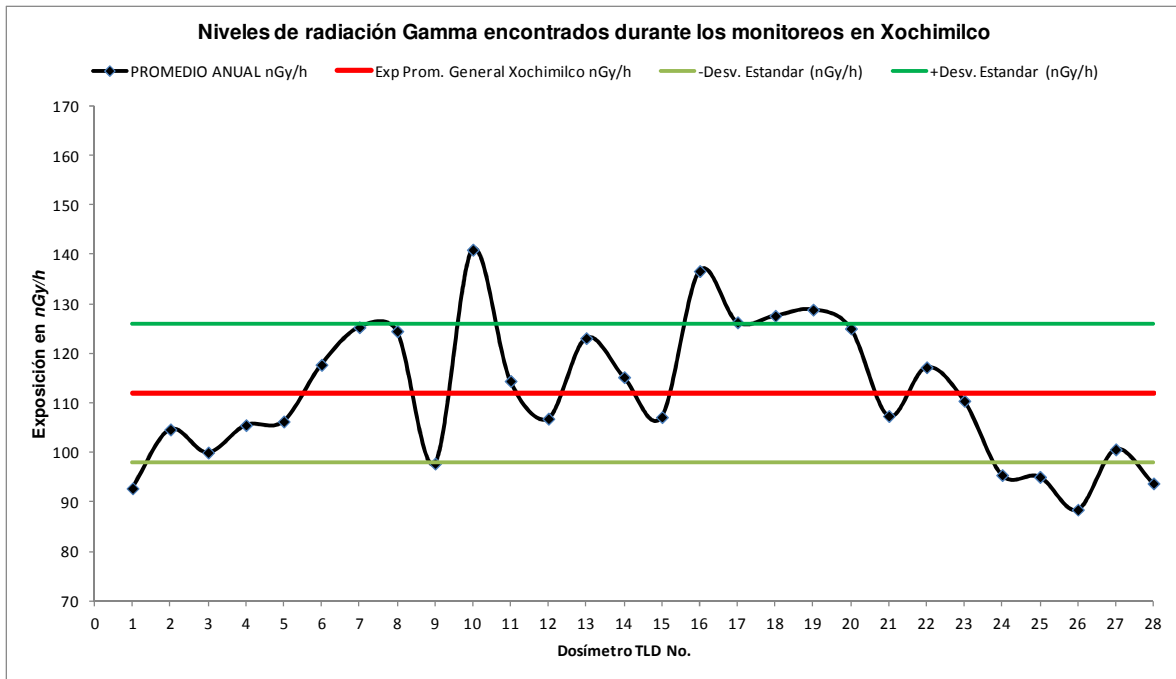
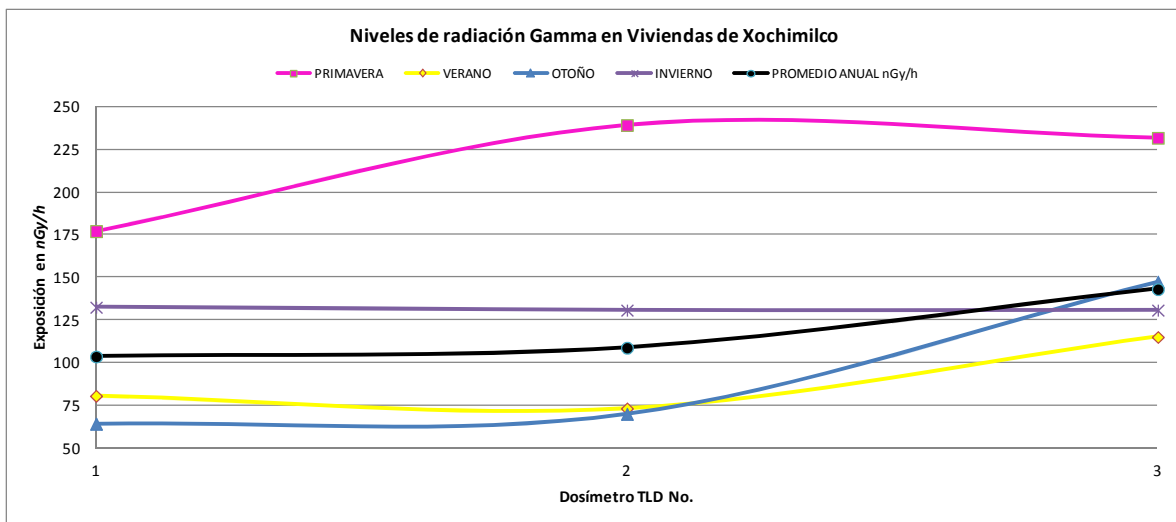


Figura 5.1.3 Niveles de radiación gamma (γ) promedio anual en exteriores de viviendas en Xochimilco



De acuerdo con los resultados obtenidos con los dosímetros, tenemos un promedio anualizado en interiores de viviendas de 111.96 nGy/h con un error de

+/-1.53 nGy/h y una desviación estándar de +/- 14.11 nGy/h, mientras que en exteriores tenemos un promedio anualizado de 118.38 nGy/h con un error de +/- 1.12 nGy/h y una desviación estándar de +/- 21.48 nGy/h.

Si eliminamos los valores de primavera, podemos comparar los resultados, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.1.4 Niveles de exposición a radiación gamma (γ) en aire (nGy/h)

	Prom. Aritm. Anual	Prom. Geom. Anual	Desviación Estándar	Rango
Exp. Prom. de las 4 estaciones	112.0	111.9	14.1	88-141
Exp. Prom. Sin Considerar Primavera	101.4	101.2	12.29	83-131

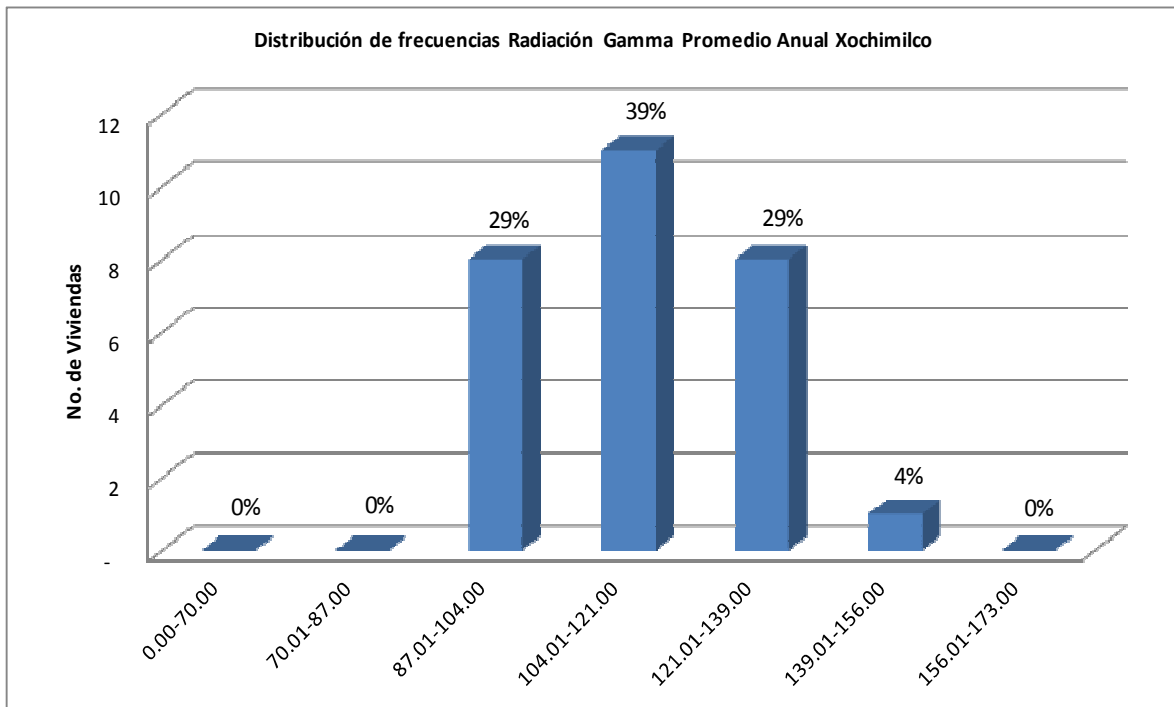
Si no consideramos la estación primavera, la concentración promedio anual baja en 10.6 nGy/h, quedando 101.4 nGy/h +/- 12.29 nGy/h

Así mismo, observamos en la distribución de frecuencias (tabla 5.1.5) para las diferentes estaciones del año (Excepto primavera), no tuvo una gran dispersión, por lo que el promedio cae en el punto de mayor frecuencia.

Tabla 5.1.5 Distribución de frecuencia radiación Gamma (γ) en viviendas de Xochimilco

Intervalo (nGy/h)	Distribución de Frecuencia				
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Prom. Anual
0.00-70.00	-	3	7	6	-
70.01-87.00	-	16	8	-	-
87.01-104.00	2	7	5	-	8
104.01-121.00	3	1	8	1	11
121.01-139.00	2	1	-	12	8
139.01-156.00	1	-	-	3	1
156.01-173.00	2	-	-	3	-
173.01-191.00	3	-	-	1	-
191.01-208.00	7	-	-	-	-
208.01-300.00	8	-	-	2	-

Figura 5.1.4 Distribución de frecuencias de radiación gamma (γ) promedio anual en interiores de viviendas en Xochimilco



La tabla 5.1.6 nos muestra la variación entre los resultados obtenidos en la delegación Xochimilco y el Promedio general obtenido en el DF-área metropolitana hasta el momento:

Tabla 5.1.6 Comparativa de niveles de exposición a radiación gamma en aire (nGy/h)

Región	Interior	Exterior	Rango (Prom. Anual)
Xochimilco	112.0	118.4	88-141
México	105 ³³	88.3	23-217

En interiores, el % de variabilidad es de 6.2%, mientras que para exteriores es de 33.5% por arriba del promedio anual obtenido en toda la zona metropolitana del valle de México.

No existe variación significativa entre las zonas alta y llanura de la delegación Xochimilco, como lo podemos observar en la tabla siguiente:

³³ United Nations. *Op. cit.*, p. 329

Tabla 5.1.7 Niveles de exposición radiación gamma en aire (nGy/h) para zonas Lacustre y Cerril (alta)

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual
Zona Lacustre	197.8	82.5	83.8	123.3	114.0
Zona Cerril o alta	155.3	84.9	87.4	105.6	108.8

También podemos comparar los datos con la delegación Tlahuac³⁴ y la delegación Tlalpan³⁵, que tienen una gran similitud con Xochimilco en cuanto a clima, hidrografía y orografía:

Tabla 5.1.8 Comparativa con las delegaciones Tlahuac y Tlalpan de niveles de exposición (γ) (nGy/h)

Delegación	Prom. Aritm. Anual	Prom. Geom. Anual	Desviación Estándar	Rango
Xochimilco	112.0	111.9	14.1	88-141
Tláhuac	106.0	105.9	6.7	96-128
Tlalpan	61.33		8.85	50-85

El % de variabilidad de Xochimilco con respecto a Tláhuac es de 5.3% para la media aritmética/geométrica, mientras que, con respecto a Tlalpan es de 82%. Así mismo, podemos observar que los datos en Xochimilco están más dispersos.

³⁴ Martínez, Trinidad, *et al.* Gamma Radiation and Radon Levels in Mexico City Dwellings. 1995, p. 261

³⁵ Elizarrarás, Víctor. Determinaciones de Radón a corto y largo Plazo en la Delegación Tlalpan, p. 99.

5.2 CONCENTRACIÓN DE ²²²Rn

5.2.1 MEDICIONES DE LARGO PLAZO (LLT)

Es importante mencionar, de nuevo, que los monitoreos se realizaron en condiciones normales y con los hábitos y costumbres de los habitantes. (Condiciones de casa abierta). El tiempo de exposición varió entre 15 y 102 días.

Los resultados obtenidos en cuanto a la concentración de gas radón con electretos E-PERM de largo tiempo y cámaras "L" se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 5.2.1 Resultados de Concentración de ²²²Rn en Interiores de Viviendas en Xochimilco

ID	LLT No.	USUARIO/DIRECCION	Concentración de ²²² Rn (Bq/m ³)					PROMEDIO ANUAL LLT (Bq/m ³)	NOTAS
			PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO			
1	LE 1994	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	6.93	1711.01	1162.60	118.60	749.78		
1	LE 2073	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	437.44	956.04	459.91	6.74	465.03	Duplicado	
2	LE 2158	Araceli Sosa Castillo/Pro. E. Zapata No.16 Santiago Tepalcatlalpan C.P. 16200	0.00	188.00	488.61	9.81	171.60		
3	LE 2089	Uriel Gerardo Narciso/a3 de Sept. No.52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	125.16	73.67	63.04	259.96	130.46		
3	LE 2243	Uriel Gerardo Narciso/a3 de Sept. No.52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	37.08	26.84	165.14	5.69	58.69	Duplicado	
4	LE 2248	Araceli Paez Enriquez/Av. Chapultepec No.20 Sn Gregorio Atlapulco C.P. 16600	0.00	1150.48	93.25	109.87	338.40		
5	LE 2250	Ernesto Salinas Raya/Tejocotes No.19 Sta. Ines C.P.16810	229.10	470.83	265.46	108.41	268.45		
6	LE 2257	Virginia Muñoz de Villar/Calle 2 No.8 Sn Mateo Xalpa C.P.16800	1208.90	210.12	36.22	14.01	367.31		
7	LE 2258	Cristina Castellanos Rosas/Gpe I. Ramírez No.339 Sn Lucas Xoch. C.P.16330	0.00	113.59	102.49	230.97	111.76		
8	LE 2260	José A. Alvarez Trejo/Cam. Real a Sn. Andrés No.3 Sn Lorenzo Atem. C.P.16400	86.50	618.88	349.03	15.60	267.50		
9	LE 2263	Ma. Imelda Gerardo Narciso/Año de Juárez No.113bis Sn Luis Tlalix. C.P.16610	1075.35	36.50	99.80	33.33	311.24		
10	LE 2265	Martín Enriquez Gonzalez/Nvo León No.1084 Sn Gregorio Atlapulco C.P.16600	183.12	259.83	131.89	1.40	144.06		
11	LE 2275	Flavio U. Mendoza López/Lázaro Cárdenas No.7 bis Cerro Grande Sn Lucas C.P. 16	57.65	15.78	57.68	57.80	47.23		
12	LE 2278	Manuel Olivares Becerril/ 2 de Abril No.21Bis /Santiago Tepalcatlalpan C.P. 16200	130.32	115.84	119.39	16.96	95.63		
13	LE 2282	Diana Rosales Rodríguez/Gpe. I. Ramírez No.200 Barrio San Marcos C.P. 16050	397.08	321.19	148.28	223.97	272.63		
14	LE 2664	Viridiana Aguirre López/Roselina No.13 San Bernardino C.P. 16030	147.00	35.64	48.87	10.74	60.56		
14	LE 2665	Viridiana Aguirre López/Roselina No.13 San Bernardino C.P. 16030	44.57	303.99	31.33	76.07	113.99	Duplicado	
15	LE 2668	Artemisa San Germán Jimenez/Central No.12 Xaltocán C.P. 16090	702.23	185.24	183.43	14.52	271.36		
16	LE 2675	Anacleto Méndez Méndez/Barrio Guanalapa No.82 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	313.95	294.89	262.36	128.34	249.88		
17	LE 2677	Leticia Fernández Trejo/Pedro Benavides No.50 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	828.06	507.59	42.59	98.13	369.09		
18	LE 2679	Araceli Erazo Rosas/Francisco Saravia No.7 Sta Cecilia Tepetlapa C.P. 16880	18.18	560.53	145.01	13.64	184.34		
19	LE 2691	Alberto Jimenez Lavalla/La Paz No.45 Tulyehualco C.P.	410.16	674.67	127.90	152.12	341.21		
20	LE 2704	Montserrat Alvarez Trejo/Industria No.19 Sta Cruz Xochitepec C.P. 16100	1724.88	46.60	630.66	15.89	604.51		
21	LE 2706	Gregorio Rodríguez Ramírez/Pro. Matamoros No.2 San Mateo Xalpa C.P. 16800	123.04	922.82	49.10	259.00	338.49		
22	LE 2714	Miguel Flores Sandoval/Gladiolas No.98 Barrio San Antonio C.P. 16000	143.61	8.17	3.46	30.64	46.47		
23	LE 2725	Luis Armando Camón Alarcón/Av. Hidalgo No.7192 Sta Ines C.P. 16810	89.24	906.49	16.77	41.79	263.57		
24	LE 2728	Marcelino Olivares García/Av. Juárez No.57 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810	179.36	1304.53	496.04	348.95	582.22		
25	LE 2107	Porfirio Flores Carranza/Av. Juárez No.62 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810	282.40	409.92	48.48	107.73	212.13		
		Media Aritmética Anual	320.76	443.92	208.17	89.67	265.63		
		Media Geométrica Anual	49.24	222.39	112.84	42.66	208.39		
		Desviación Estandar	422.39	444.04	250.43	95.87	176.02		

De acuerdo con los resultados obtenidos, tenemos un media aritmética anual de 265.63 Bq/m³ y una media geométrica anual de 208.39 Bq/m³, con una desviación estándar de +/- 176.02 Bq/m³. Los 6 datos sombreados (LE 2257, LE 2704 en primavera; LE 1994, LE 2258, LE 2728 en verano y, LE 2073 en otoño), están

fuera de rango por lo que fueron sustituidos por el media aritmética anual de esa vivienda. Los datos obtenidos al sustituir los 6 picos se muestran en la tabla 5.2.2.

Tabla 5.2.2 Resultados de Concentración de ^{222}Rn en Interiores de Viviendas en Xochimilco

LLT		USUARIO/DIRECCION	Concentración de ^{222}Rn (Bq/m ³)				PROMEDIO ANUAL LLT (Bq/m ³)	NOTAS
ID	No.		PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO		
1	LE 1994	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	6.93	429.37	1162.60	118.60	429.37	
1	LE 2073	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	437.44	956.04	459.91	6.74	465.03	Duplicado
2	LE 2158	Araceli Sosa Castillo/Prol. E. Zapata No.16 Santiago Tepalcatlalpan C.P. 16200	0.00	188.00	488.61	9.81	171.60	
3	LE 2089	Uriel Gerardo Narciso/a3 de Sept. No.52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	125.16	73.67	63.04	259.96	130.46	
3	LE 2243	Uriel Gerardo Narciso/a3 de Sept. No.52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	37.08	26.84	165.14	5.69	58.69	Duplicado
4	LE 2248	Araceli Paez Enriquez/Av. Chapultepec No.20 Sn Gregorio Atlapulco C.P. 16600	0.00	1150.48	93.25	109.87	338.40	
5	LE 2250	Ernesto Salinas Raya/Tejocotes No.19 Sta. Ines C.P.16810	229.10	470.83	265.46	108.41	268.45	
6	LE 2257	Virginia Muñoz de Villar/Calle 2 No.8 Sn Mateo Xalpa C.P.16800	88.78	210.12	36.22	14.01	87.28	
7	LE 2258	Cristina Castellanos Rosas/Gpe I. Ramirez No.339 Sn Lucas Xoch. C.P.16330	0.00	113.59	102.49	230.97	111.76	
8	LE 2260	José A. Alvarez Trejo/Cam. Real a Sn. Andrés No.3 Sn Lorenzo Atem. C.P.16400	86.50	618.88	349.03	15.60	267.50	
9	LE 2263	Ma. Imelda Gerardo Narciso/Año de Juárez No.113bis Sn Luis Taxial. C.P.16610	1075.35	36.50	99.80	33.33	311.24	
10	LE 2265	Martín Enriquez Gonzalez/Nvo León No.1084 Sn Gregorio Atlapulco C.P.16600	183.12	259.83	131.89	1.40	144.06	
11	LE 2275	Flavio U. Mendoza López/Lázaro Cárdenas No.7 bis Cerro Grande Sn Lucas C.P. 16	57.65	15.78	57.68	57.80	47.23	
12	LE 2278	Manuel Olivares Becerril/ 2 de Abril No.21Bis /Santiago Tepalcatlalpan C.P. 16200	130.32	115.84	119.39	16.96	95.63	
13	LE 2282	Diana Rosales Rodríguez/Gpe. I. Ramirez No.200 Barrio San Marcos C.P. 16050	397.08	321.19	148.28	223.97	272.63	
14	LE 2664	Viridiana Aguirre López/Roselina No.13 San Bernardino C.P. 16030	147.00	35.64	48.87	10.74	60.56	
14	LE 2665	Viridiana Aguirre López/Roselina No.13 San Bernardino C.P. 16030	44.57	303.99	31.33	76.07	113.99	Duplicado
15	LE 2668	Artemisa San Germán Jiménez/Central No.12 Xaltocán C.P. 16090	702.23	185.24	183.43	14.52	271.36	
16	LE 2675	Anacleto Méndez Méndez/Barrio Guanalapa No.82 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	313.95	294.89	262.36	128.34	249.88	
17	LE 2677	Leticia Fernández Trejo/Pedro Benavides No.50 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	828.06	507.59	42.59	98.13	369.09	
18	LE 2679	Araceli Erazo Rosas/Francisco Saravia No.7 Sta Cecilia Tepetlapa C.P. 16880	18.18	560.53	145.01	13.64	184.34	
19	LE 2691	Alberto Jiménez Lavalla/La Paz No.45 Tulyehualco C.P.	410.16	674.67	127.90	152.12	341.21	
20	LE 2704	Montserrat Alvarez Trejo/Industria No.19 Sta Cruz Xochitepec C.P. 16100	231.05	46.60	630.66	15.89	231.05	
21	LE 2706	Gregorio Rodríguez Ramírez/Prol. Matamoros No.2 San Mateo Xalpa C.P. 16800	123.04	922.82	49.10	259.00	338.49	
22	LE 2714	Miguel Flores Sandoval/Gladiolas No.98 Barrio San Antonio C.P. 16000	143.61	8.17	3.46	30.64	46.47	
23	LE 2725	Luis Armando Camón Alarcón/Av. Hidalgo No.7192 Sta Ines C.P. 16810	89.24	906.49	16.77	41.79	263.57	
24	LE 2728	Marcelino Olivares García/Av. Juárez No.57 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810	179.36	341.45	496.04	348.95	341.45	
25	LE 2107	Porfirio Flores Carranza/Av. Juárez No.62 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810	282.40	409.92	48.48	107.73	212.13	
		Media Aritmética Anual	227.41	363.75	208.17	89.67	222.25	
		Media Geométrica Anual	41.75	201.78	112.84	42.66	183.97	
		Desviación Estandar	263.51	322.51	250.43	95.87	120.13	

Las razones por las que los datos sombreados pudieron afectar a la concentración tan alta de ^{222}Rn , se describen a continuación:

Primavera

- En el caso del electroto LE 2257, la lectura tan alta se debió, a pesar de ser catalogada como una casa con ventilación media, a que el electroto estaba situado en un lugar que no era ventilado y sólo había una puerta intermedia por la cual habría muy poco flujo de aire, lo cual contribuyó a la alta concentración.
- Para el caso de LE2704, también de primavera, reportó una concentración alta debido a que en esta casa se tenían dos factores importantes que

contribuyeron, como lo son el tener piso de mármol y el que los habitantes son fumadores.

Verano:

- La lectura del electreto LE 1994 fue muy alta debido a que el electreto estaba situado en un lugar sin ventilación y la casa estaba en construcción debido a una ampliación de la misma y muy cercana al lugar donde se encontraba situado el electreto, por lo tanto al no haber ventilación y las emanaciones extra de los materiales de construcción utilizados nos reportó un valor muy alto.
- La lectura del electreto LE 2258 fue muy alta debido a que la casa generalmente mantenía las puertas y ventanas cerradas y, en específico en el periodo de verano debido al periodo de vacaciones la casa permaneció totalmente cerrada.
- En el electreto LE 2728 se reportó una alta concentración debido a que las paredes de la casa eran de tabicón y su acabado era de cal, los cuales en nuestros datos experimentales nos arrojaron de las concentraciones más altas de radón y, dependiendo de la procedencia de los materiales (cal y tabicón) dependerá la concentración de radón que emanen dichos materiales.

Otoño:

- En el caso del electreto LE 2073 se reportó una alta concentración debido a que el electreto no contaba con ventilación y porque la casa estaba en periodo de construcción por ampliación.

Tabla 5.2.3 Resultados de Concentración de ²²²Rn en Exteriores de Viviendas en Xochimilco

LLT		Concentración de ²²² Rn (Bq/m ³)					
ID	No.	USUARIO/DIRECCION/TELEFONO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PROMEDIO ANUAL
10	LE 2266	Martín Enriquez Gonzalez/Nvo León No.1084 Sn Gregorio Atlapulco C.P.16600	370.33	398.31	63.13	55.57	221.84
1	LE 2274	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	54.89	162.19	81.74	850.69	287.37
11	LE 2277	Flavio U. Mendoza López/Lázaro Cárdenas No.7 bis Cerro Grande Sn Lucas C.P. 16	317.36	558.48	350.02	131.10	339.24
		Media Aritmetica Anual	247.53	372.99	164.96	345.78	282.82
		Media Geométrica Anual	186.15	330.43	121.78	183.68	278.61
		Desviación Estandar	168.92	199.36	160.54	438.89	58.83

Figura 5.2.1 Concentración de ^{222}Rn para las diferentes estaciones del año en Xochimilco

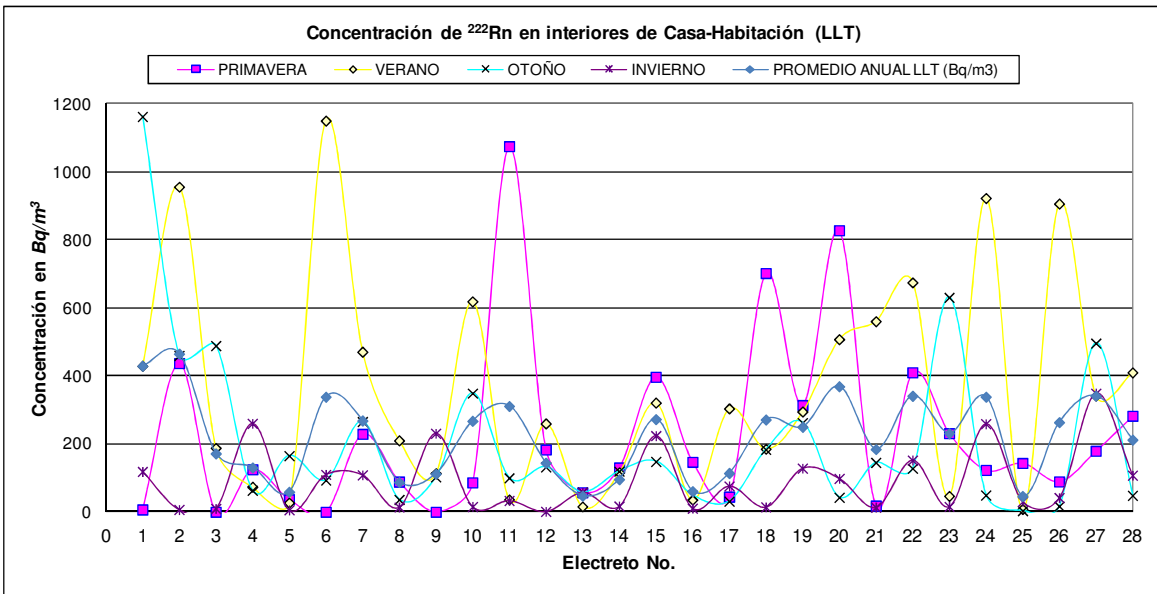
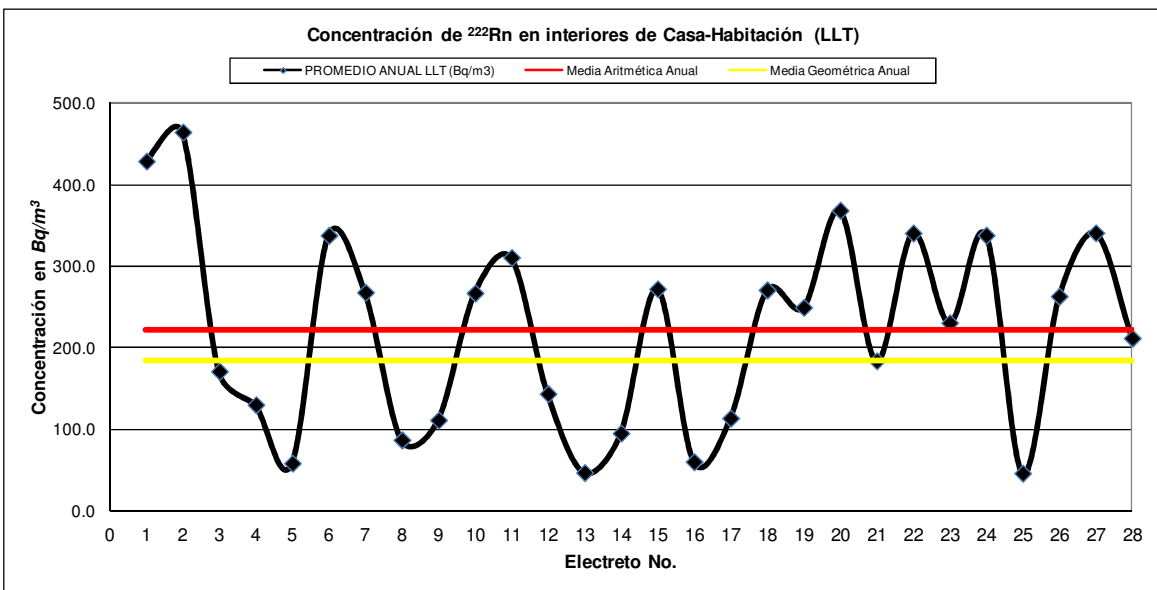


Figura 5.2.2 Concentración de ^{222}Rn promedio anual en interiores de viviendas en Xochimilco



Eliminados los datos fuera de rango, los resultados obtenidos en interiores de viviendas en Xochimilco son: media aritmética de 222.25 Bq/m^3 , media geométrica de 183.93 Bq/m^3 y una desviación estándar de $\pm 120.13 \text{ Bq/m}^3$ mientras que en exteriores tenemos una media aritmética de 282.82 Bq/m^3 , media geométrica de 278.61 Bq/m^3 , con una desviación estándar de $\pm 58.83 \text{ Bq/m}^3$. Estos valores ya

consideran la corrección por altura, cuya variación es de entre 33.93% y 42.91%, por arriba de los resultados obtenidos con los electretos.

La siguiente tabla nos muestra la concentración de ^{222}Rn promedio anual en interiores, comparada con el promedio general obtenido en México, hasta el momento:

Tabla 5.2.4 Comparativa de concentración ^{222}Rn (Bq/m³)

Región	Medía Aritmética	Media Geométrica	Rango (Prom. Anual)
Xochimilco	222.25	183.97	46-465
México ³⁶	141	89.0	4-1193

La concentración promedio resultante en Xochimilco es alta comparada con el promedio general histórico de México.

Las concentraciones de ^{222}Rn para las diferentes estaciones del año las podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 5.2.5 concentración ^{222}Rn (Bq/m³) en las diferentes estaciones del año

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Interiores	227.41	363.75	208.17	89.67
Exteriores	247.53	372.99	164.96	345.78

Se observa, claramente, que la concentración más alta de ^{222}Rn la tuvimos en verano, mientras que, la menor concentración de ^{222}Rn la tuvimos en invierno. Una de las razones es que en el verano se genera la mayor precipitación pluvial del año. Considerando que Xochimilco tiene zonas de lago, ríos y depósitos aluviales al aire libre, pues es el mecanismo principal para que el ^{222}Rn , alcance la superficie y se concentre en mayor proporción en las viviendas.

³⁶ Martínez, T.; *et al. Op. cit.*, p. 232-233

Tabla 5.2.6 Distribución de frecuencia Concentración de ²²²Rn en viviendas de Xochimilco

Intervalo (Bq/m ³)	Distribución de Frecuencia				
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Prom. Anual
0.0-150.0	16	9	18	22	10
150.01-300.0	5	5	4	5	10
300.01-450.0	4	5	1	1	7
450.01-600.0	-	3	3	-	1
600.01-750.0	1	2	1	-	-
750.01-900.0	1	-	-	-	-
900.01-1050.0	-	3	-	-	-
1050.01-1200.0	1	1	1	-	-
1200.01-1850.0	-	-	-	-	-
	28	28	28	28	28

Tabla 5.2.7 Porcentaje de resultados de ²²²Rn (Bq/m³) en las diferentes estaciones del año

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
<150	57%	32%	64%	79%
<300	75%	50%	79%	96%

Podemos observar, de acuerdo a la distribución de frecuencias para las diferentes estaciones del año (tablas 5.2.6 y 5.2.7), que la mayor concentración de datos está por debajo de los 300 Bq/m³; adicionalmente, se observa que la distribución de frecuencia de datos de concentración de ²²²Rn es de tipo logarítmica normal.

Figura 5.2.3 Distribución de Frecuencia Concentración de ²²²Rn para las diferentes estaciones del año en Xochimilco

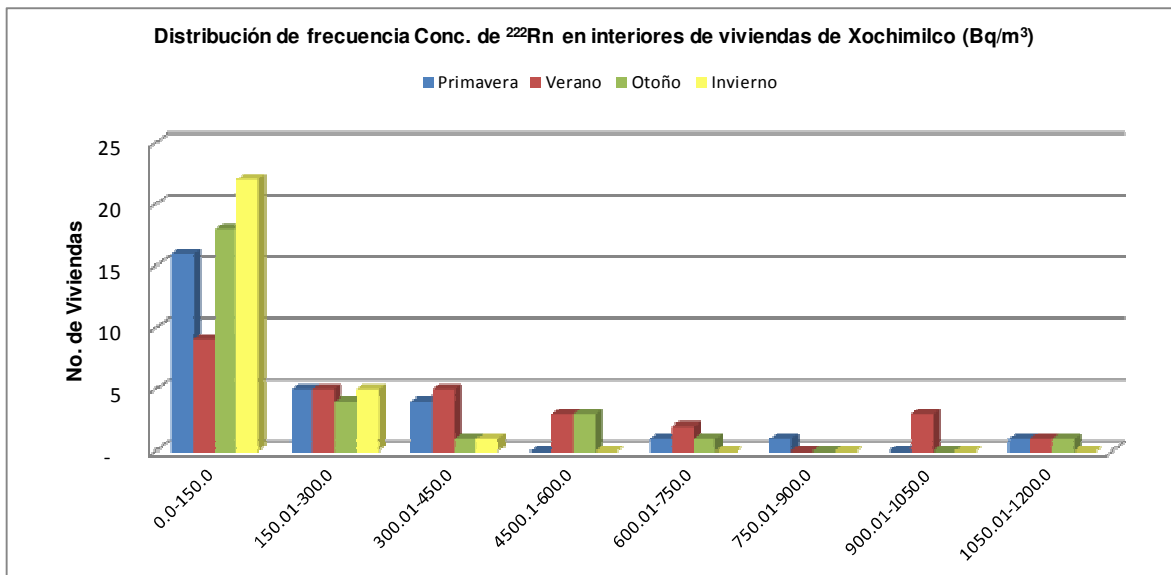
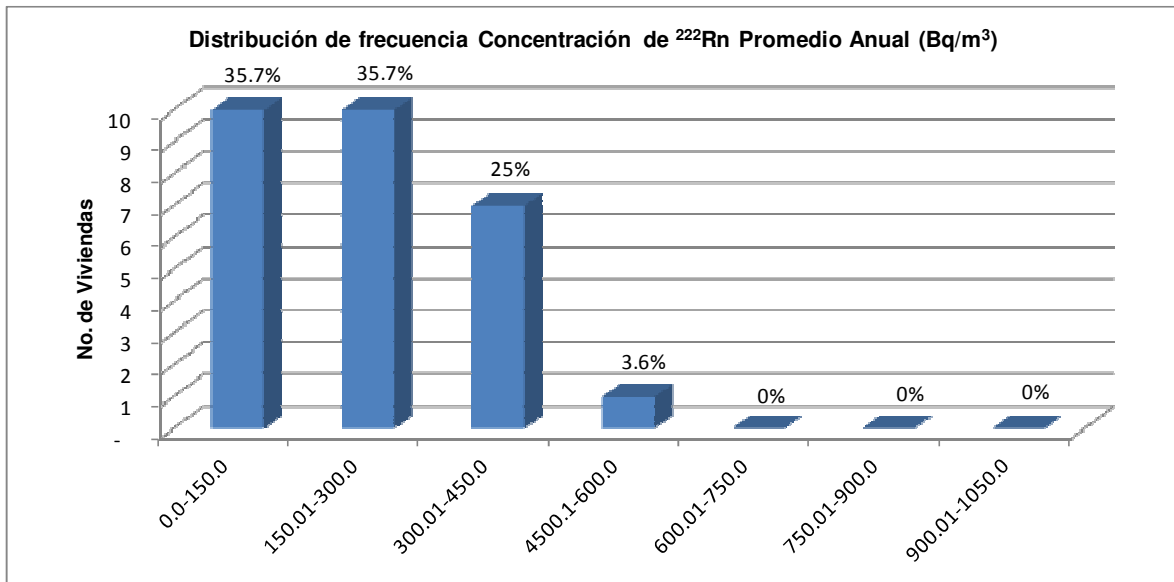


Figura 5.2.4 Distribución de Frecuencia. Concentración de ²²²Rn promedio anual en interiores de viviendas en Xochimilco



Sin efectuar la corrección por altura, las concentraciones de ²²²Rn las podemos ver en la tabla siguiente:

Tabla 5.2.8 concentración ²²²Rn (Bq/m³) Sin la corrección por altura

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Interiores	168.53	269.51	153.68	72.39
Exteriores	186.43	278.95	124.68	256.87

Comparando las concentraciones anuales tenemos:

Tabla 5.2.9 Comparativa de concentración ²²²Rn (Bq/m³)

Región	Medía Aritmética	Media Geométrica	Rango (Prom. Anual)
Xochimilco con Corrección	222.25	183.97	46-465
Xochimilco sin Corrección	166.14	138.26	31-343
México ³⁷	141	89.0	4-1193

³⁷ *Idem*

Tomando en cuenta la corrección por altura, el % de variabilidad de la concentración de ²²²Rn es de 58%, mientras que sin la corrección por altura es de 18% por encima del promedio general obtenido en México.

De acuerdo con la tabla 5.2.9, la media geométrica anual de ²²²Rn para la delegación Xochimilco cae dentro del nivel máximo aceptado por la Comunidad Europea para viviendas ya construidas, el cual es de 400 Bq/m³, mientras que, tomando en cuenta el valor máximo permisible de 150 Bq/m³ asignado por la **U.S. Environmental Protection Agency, (EPA)**, la media geométrica anual de Xochimilco sin corrección de altura (138.26 Bq/m³) cae dentro del rango. En 1993, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, por sus siglas en inglés), recomendó que, para edificios existentes con valores de entre 200 y 600 Bq/m³ se debe tomar acción, de acuerdo al nivel de concentración de ²²²Rn.³⁸

En función de las características de construcción y tipo de ventilación de las viviendas, tenemos los siguientes resultados (los 6 datos originales de las celdas sombreadas en la tabla 5.2.2 si fueron considerados para este análisis):

Tabla 5.2.10 Tipo de acabados de las diferentes Casa-habitación

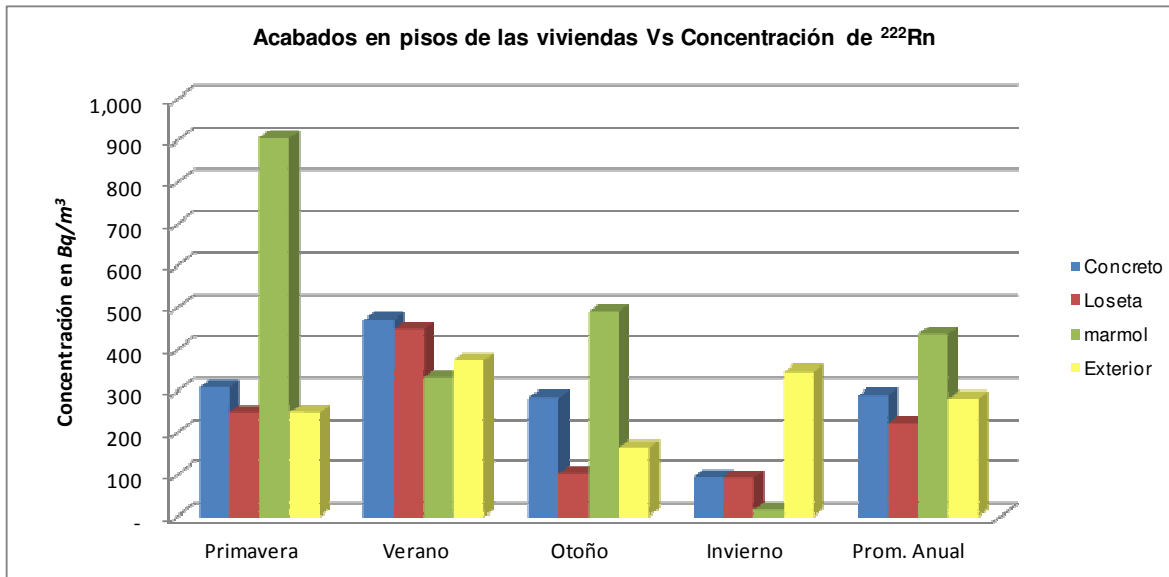
LLT		Características de las viviendas						
ID	No.	USUARIO/DIRECCION	# de pisos	Tipo de piso	Paredes	Recub. en Pared	Techo	Ventilación
1	LE 1994	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	1	Concreto	Tabicón	Concreto	Concreto	Sin
1	LE 2073	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	1	Concreto	Tabicón	Concreto	Concreto	Sin
2	LE 2158	Araceli Sosa Castillo/ProL. E. Zapata No.16 Santiago Tepalcatlapan C.P. 16200	1	Concreto	Ladrillo	Sin	Concreto	Vent. Media
3	LE 2089	Uriel Gerardo Narciso/a3 de Sept. No.52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	2	Concreto	Ladrillo	Concreto	Concreto	Vent. Adecuada
3	LE 2243	Uriel Gerardo Narciso/a3 de Sept. No.52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	2	Concreto	Ladrillo	Concreto	Concreto	Vent. Adecuada
4	LE 2248	Araceli Paez Enriquez/Av. Chapultepec No.20 Sn Gregorio Atlapulco C.P. 16600	1	Loseta	Tabicón	Yeso	Concreto	Vent. Media
5	LE 2250	Ernesto Salinas Raya/Tejocotes No.19 Sta. Ines C.P.16810	1	Concreto	Ladrillo	Sin	Lámina	Sin
6	LE 2257	Virginia Muñoz de Villar/Calle 2 No.8 Sn Mateo Xalpa C.P.16800	1	Concreto	Ladrillo	Yeso	Concreto	Vent. Media
7	LE 2258	Cristina Castellanos Rosas/Gpe I. Ramírez No.339 Sn Lucas Koch. C.P.16330	3	Loseta	Ladrillo	Concreto	Concreto	Sin
8	LE 2260	José A. Alvarez Trejo/Cam. Real a Sn. Andrés No.3 Sn Lorenzo Atem. C.P.16400	4	Mármol	Tabicón	Yeso	Concreto	Vent. Adecuada
9	LE 2263	Ma. Imelda Gerardo Narciso/Año de Juárez No.113bis Sn Luis Tlaxial. C.P.16610	2	Loseta	Tabicón	Yeso	Concreto	Vent. Media
10	LE 2265	Martín Enriquez Gonzalez/Nvo León No.1084 Sn Gregorio Atlapulco C.P.16600	2	Loseta	Tabicón	Yeso	Concreto	Vent. Adecuada
11	LE 2275	Flavio U. Mendoza López/Lázaro Cárdenas No.7 bis Cerro Grande Sn Lucas C.P. 16	3	Loseta	Tabicón	Concreto	Concreto	Vent. Media
12	LE 2278	Manuel Olivares Becerril/ 2 de Abril No.21Bis /Santiago Tepalcatlapan C.P. 16200	1	Concreto	Piedra/barro	Cal	Ladrillo	Vent. Media
13	LE 2282	Diana Rosales Rodríguez/Gpe. I. Ramírez No.200 Barrio San Marcos C.P. 16050	1	Concreto	Madera	Sin	Lámina	Vent. Adecuada
14	LE 2664	Viridiana Aguirre López/Roselina No.13 San Bernardino C.P. 16030	1	Loseta	Tabicón	Yeso	Concreto	Vent. Media
14	LE 2665	Viridiana Aguirre López/Roselina No.13 San Bernardino C.P. 16030	1	Loseta	Tabicón	Yeso	Concreto	Vent. Media
15	LE 2668	Artemisa San Germán Jimenez/Central No.12 Xaltocán C.P. 16090	2	Concreto	Tabicón	Yeso	Concreto	Vent. Media
16	LE 2675	Anacleto Méndez Méndez/Barrio Guanalapa No.82 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	2	Mosaico	Tabicón	Yeso	Concreto	Vent. Media
17	LE 2677	Leticia Fernández Trejo/Pedro Benavides No.50 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	2	Loseta	Tabicón	Yeso	Concreto	Vent. Media
18	LE 2679	Araceli Erazo Rosas/Francisco Saravia No.7 Sta Cecilia Tepetlapan C.P. 16880	1	Loseta	Tabicón	Concreto	Concreto	Vent. Media
19	LE 2691	Alberto Jimenez Lavalla/La Paz No.45 Tulyehualco C.P.	2	Loseta	Ladrillo	Concreto	Concreto	Vent. Adecuada
20	LE 2704	Montserrat Alvarez Trejo/Industria No.19 Sta Cruz Xochitepec C.P. 16100	2	Mármol	Ladrillo	Yeso	Concreto	Vent. Adecuada
21	LE 2706	Gregorio Rodríguez Ramírez/ProL. Matamoros No.2 San Mateo Xalpa C.P. 16800	1	Concreto	Tabicón	Sin	Lámina	Vent. Media
22	LE 2714	Miguel Flores Sandoval/Gladiolas No.98 Barrio San Antonio C.P. 16000	2	Loseta	Ladrillo	Yeso	Concreto	Vent. Adecuada
23	LE 2725	Luis Armando Camón Alarcón/Av. Hidalgo No.7192 Sta Ines C.P. 16810	2	Loseta	Ladrillo	Yeso	Concreto	Sin
24	LE 2728	Marcelino Olivares García/Av. Juárez No.57 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810	1	Loseta	Tabicón	Cal	Concreto	Vent. Adecuada
25	LE 2107	Porfirio Flores Carranza/Av. Juárez No.62 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810	2	Loseta	Tabicón	Yeso	Concreto	Vent. Adecuada

³⁸ Berenguer, Ma. José. Radón en Ambientes Interiores. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Tabla 5.2.11 Concentración de ^{222}Rn y acabados en Pisos de Viviendas

Tipo de piso	Acabados en pisos Vs Conc. de ^{222}Rn				
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Prom. Anual
Concreto	308.84	471.06	285.56	94.33	289.95
Loseta	247.05	449.12	103.25	93.80	223.31
marmol	905.69	332.74	489.85	15.74	436.00
Exterior	247.53	372.99	164.96	345.78	282.82

Figura 5.2.5 Concentración de ^{222}Rn y acabados en Pisos de Viviendas

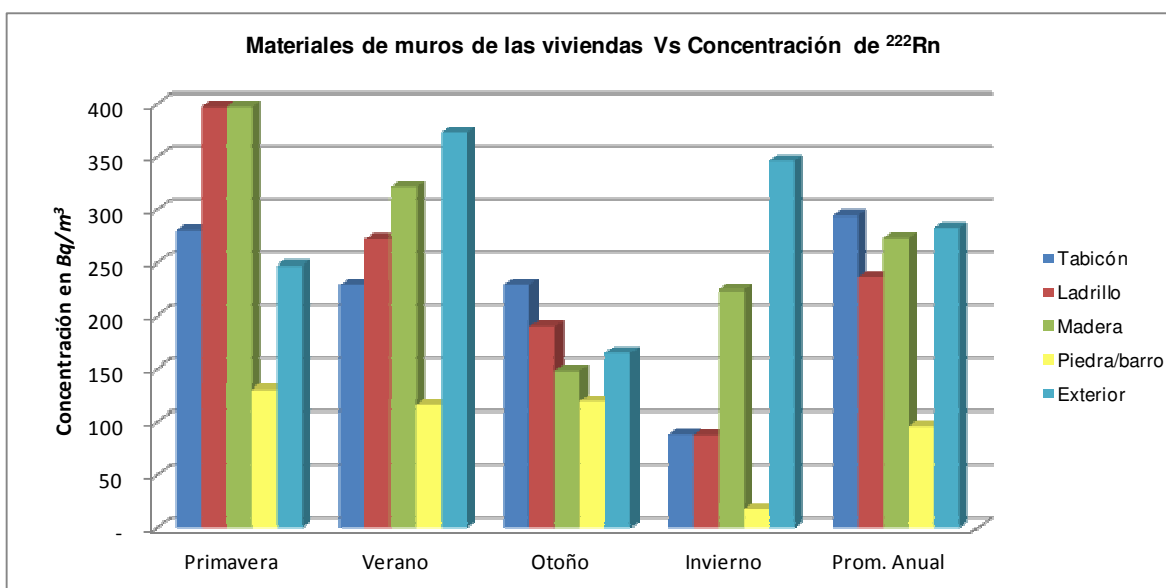


Analizando los resultados de la tabla 5.2.11, tenemos que la mayor concentración de ^{222}Rn , se obtuvo en viviendas con piso de mármol (436 Bq/m^3), mientras que la menor concentración se obtuvo con piso de loseta (223.31 Bq/m^3), esto es debido a que el mármol contribuye en la concentración de ^{222}Rn , mientras que la loseta aísla a la vivienda de la emanación del ^{222}Rn proveniente del subsuelo porque es un material poco poroso. El mármol es el material con mayor contribución de ^{222}Rn debido a que su procedencia es de minas.

Tabla 5.2.12 Concentración de ²²²Rn y materiales en muros de Viviendas

Tipo de Muro	Material de los muros Vs Conc. de ²²² Rn				
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Prom. Anual
Tabicón	280.36	228.84	228.84	87.53	294.08
Ladrillo	396.81	271.90	189.97	86.93	236.40
Madera	397.08	321.19	148.28	223.97	272.63
Piedra/barro	130.32	115.84	119.39	16.96	95.63
Exterior	247.53	372.99	164.96	345.78	282.82

Figura 5.2.5 Concentración de ²²²Rn y materiales en muros de Viviendas

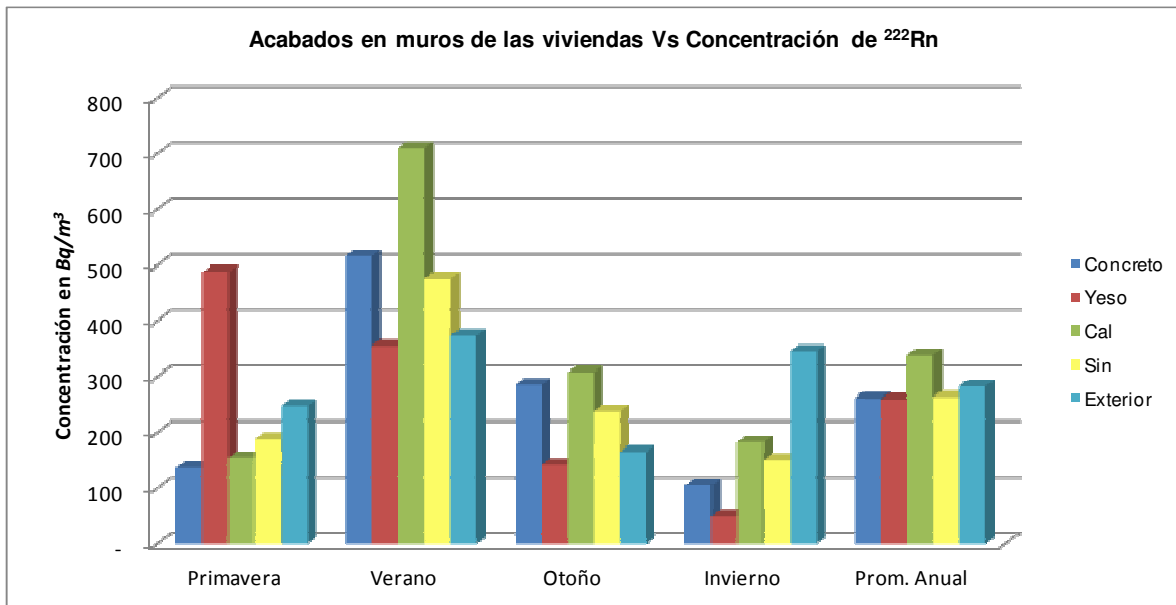


En función de los materiales utilizados en la construcción de los muros de las viviendas (tabla 5.2.12), la mayor concentración la tenemos con el tabicón, mientras que la menor concentración fue de para las viviendas que utilizaron piedra/barro. Este último material sólo se encontró en una de las viviendas, por lo que no es susceptible de ser comparado. En comparación al ladrillo, el tabicón (por ser elaborado de cemento y arena) tiene una mayor contribución, como puede observarse en la tabla 4.2 (Concentración de Radio en los diferentes materiales de construcción).

Tabla 5.2.13 Concentración de ^{222}Rn y Tipo de acabados en muros de Viviendas

Acabado en Muros	Acabados en Muros Vs Conc. de ^{222}Rn				
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Prom. Anual
Concreto	136.57	516.52	285.47	105.69	261.06
Yeso	487.84	355.31	141.30	49.86	258.58
Cal	154.84	710.19	307.72	182.95	338.92
Sin	187.31	475.71	237.86	150.30	262.79
Exterior	247.53	372.99	164.96	345.78	282.82

Figura 5.2.6 Concentración de ^{222}Rn y Tipo de acabados en muros de Viviendas

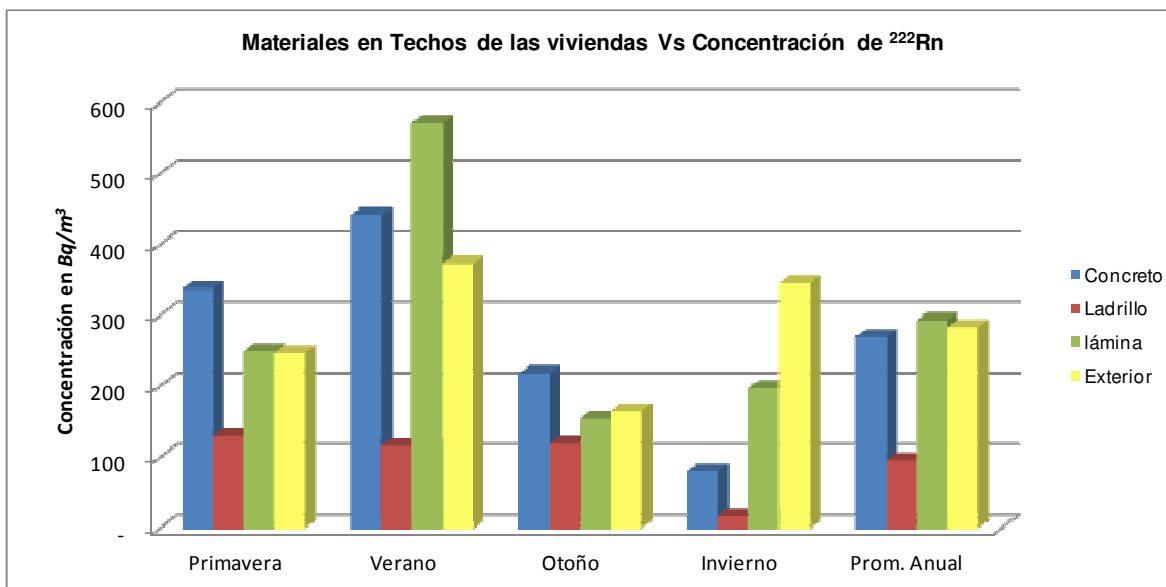


Cuando las viviendas presentan recubrimientos en los muros también puede existir una contribución de algunos de los materiales utilizados o servir de aislante. En el caso de las viviendas de Xochimilco, el valor más alto de ^{222}Rn fue para viviendas que presentaban recubrimiento con cal (aunque solo eran dos viviendas). El siguiente dato más alto lo presentan las viviendas que no tienen recubrimientos, mientras que el valor más bajo es para las viviendas con recubrimiento de yeso y pintura. El yeso (258.51 Bq/m³) contribuye menos en la concentración de ^{222}Rn , comparado con el concreto (261.06 Bq/m³)

Tabla 5.2.14 Concentración de ^{222}Rn y Tipo de materiales en techos de Viviendas

Materiales en Techo Vs Conc. de ^{222}Rn					
Tipo de techo	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Prom. Anual
Concreto	337.57	441.62	218.61	79.26	269.27
Ladrillo	130.32	115.84	119.39	16.96	95.63
lámina	249.74	571.61	154.28	197.13	293.19
Exterior	247.53	372.99	164.96	345.78	282.82

Figura 5.2.7 Concentración de ^{222}Rn y Tipo de materiales en techos de Viviendas

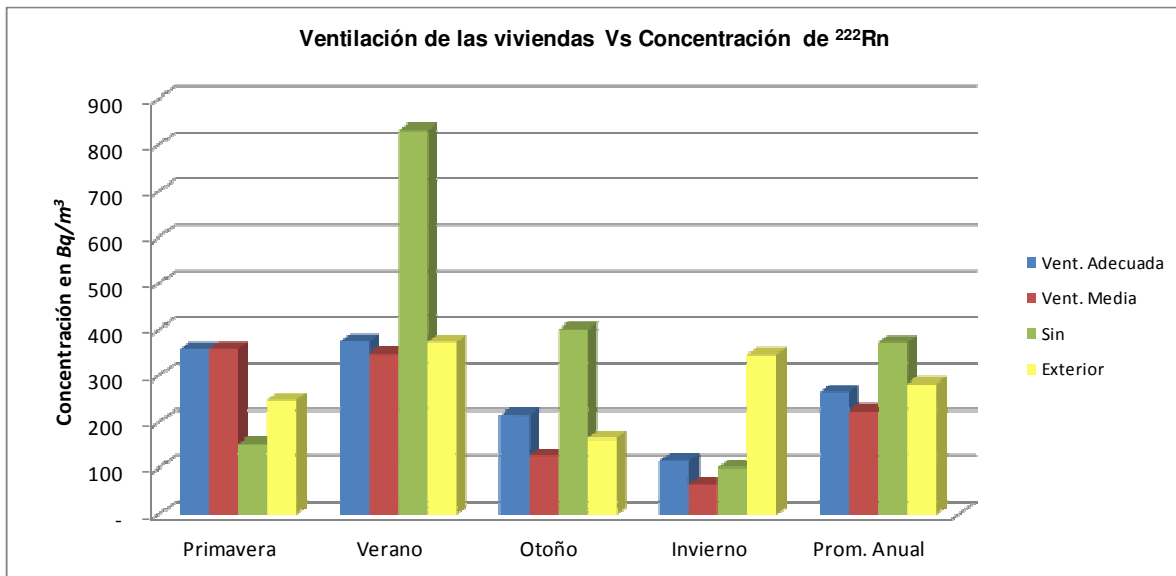


Con respecto a los materiales utilizados en los techos de las viviendas, el valor más alto lo encontramos en las viviendas con techo de lámina, esto se debe, principalmente a que la casa no está totalmente aislada, lo cual permite la entrada de ^{222}Rn del exterior. Esto lo podemos observar sobre todo en la estación de Verano, donde las tres casas con techo de lámina, presentaron los niveles más altos de concentración de ^{222}Rn .

Tabla 5.2.15 Concentración de ^{222}Rn y Tipo de ventilación en Viviendas

	Tipo de Ventilación Vs Conc. de ^{222}Rn				
Ventilación	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Prom. Anual
Vent. Adecuada	356.93	374.43	216.39	116.19	265.99
Vent. Media	357.63	348.26	127.51	64.79	224.55
Sin	152.54	831.59	401.45	101.30	371.72
Exterior	247.53	372.99	164.96	345.78	282.82

Figura 5.2.8 Concentración de ^{222}Rn y Tipo de ventilación en Viviendas



Al analizar la concentración de ^{222}Rn en base al tipo de ventilación de las viviendas, la concentración más baja fue en viviendas que tenían una ventilación media. Esto es debido a algunas de las viviendas con ventilación adecuada, contenían materiales que contribuían a la concentración de ^{222}Rn (LE2260 y LE2704, piso de mármol; LE2282, techo de lámina y LE2728 recubrimiento de muros con cal)

5.2.2 MEDICIONES DE CORTO PLAZO (HST)

Para las mediciones de concentración de ^{222}Rn de corto plazo, el tiempo de exposición fue de 5-7 días. Los resultados obtenidos con los electretos E-PERM de corto período, usando las cámaras “H” se muestran en la tabla siguiente:

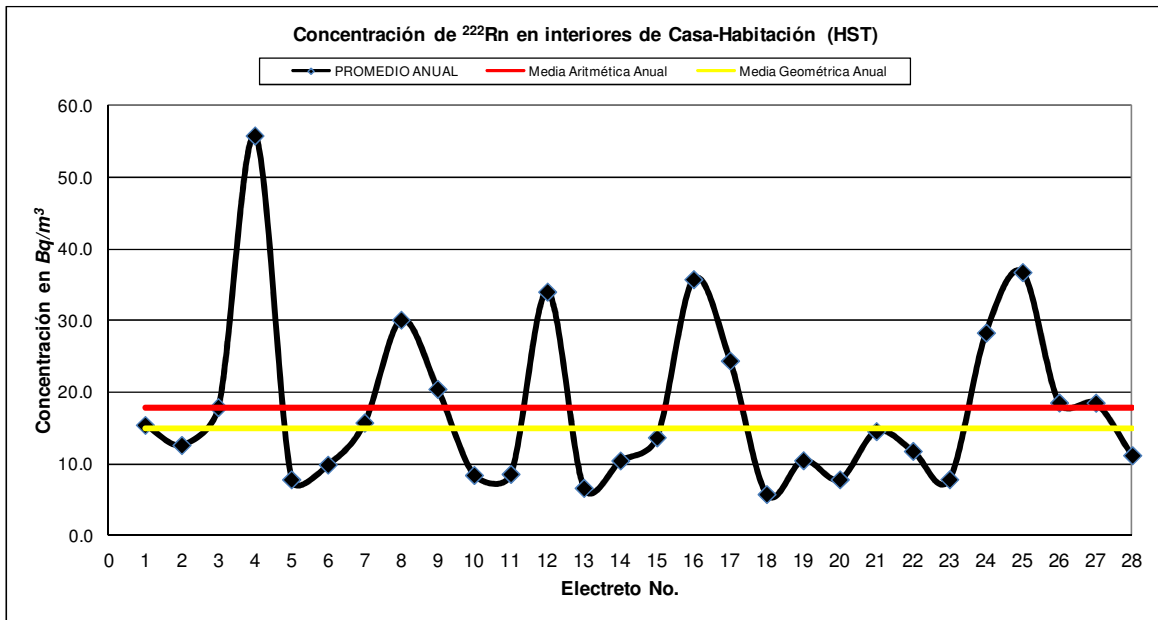
Tabla 5.2.16 Resultados de Concentración de ^{222}Rn en Interiores de Viviendas en Xochimilco (HST)

ID	USUARIO/DIRECCION	Concentración de ^{222}Rn (Bq/m^3)					NOTAS
		VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	PROMEDIO ANUAL	
1	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	6.00	29.22	14.14	12.39	15.44	
1	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	11.40	13.43	12.50	13.18	12.63	Duplicado
2	Araceli Sosa Castillo/Pro. E. Zapata No.16 Santiago Tepalcatlalpan C.P. 16200	15.43		20.41		17.92	
3	Uriel Gerardo Narciso/a3 de Sept. No.52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	105.61		6.16		55.89	
3	Uriel Gerardo Narciso/a3 de Sept. No.52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	6.74		8.92		7.83	Duplicado
4	Araceli Paez Enriquez/Av. Chapultepec No.20 Sn Gregorio Atlapulco C.P. 16600	8.92		10.87		9.90	
5	Ernesto Salinas Raya/Tejocotes No.19 Sta. Ines C.P.16810	31.51		0.04		15.77	
6	Virginia Muñoz de Villar/Calle 2 No.8 Sn Mateo Xalpa C.P.16800	22.83		37.44		30.14	
7	Cristina Castellanos Rosas/Gpe I. Ramírez No.339 Sn Lucas Xoch. C.P.16330		29.84	11.09		20.47	
8	José A. Alvarez Trejo/Cam. Real a Sn. Andrés No.3 Sn Lorenzo Atem. C.P.16400		8.66	8.23		8.44	
9	Ma. Imelda Gerardo Narciso/Año de Juárez No.113bis Sn Luis Tlaxial. C.P.16610	8.59		8.58		8.58	
10	Martín Enriquez Gonzalez/Nvo León No.1084 Sn Gregorio Atlapulco C.P.16600	55.27		12.86		34.06	
11	Flavio U. Mendoza López/Lázaro Cárdenas No.7 bis Cerro Grande Sn Lucas C.P. 16	2.41		10.87		6.64	
12	Manuel Olivares Becerril/ 2 de Abril No.21Bis /Santiago Tepalcatlalpan C.P. 16200			10.46		10.46	
13	Diana Rosales Rodríguez/Gpe. I. Ramírez No.200 Barrio San Marcos C.P. 16050		10.44	16.97		13.70	
14	Viridiana Aguirre López/Roselina No.13 San Bernardino C.P. 16030	44.41		27.19		35.80	
14	Viridiana Aguirre López/Roselina No.13 San Bernardino C.P. 16030	26.36		22.48		24.42	Duplicado
15	Artemisa San Germán Jimenez/Central No.12 Xaltocán C.P. 16090	4.45		7.10		5.77	
16	Anacleto Méndez Méndez/Barrio Guanaalapa No.82 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	13.18		7.82		10.50	
17	Leticia Fernández Trejo/Pedro Benavides No.50 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	4.97		10.68		7.83	
18	Araceli Erazo Rosas/Francisco Saravia No.7 Sta Cecilia Tepetlapa C.P. 16880		16.74	12.39		14.57	
19	Alberto Jimenez Lavalla/La Paz No.45 Tulyehualco C.P.			11.80		11.80	
20	Montserrat Alvarez Trejo/Industria No.19 Sta Cruz Xochitepec C.P. 16100	5.20		10.49		7.85	
21	Gregorio Rodríguez Ramírez/Pro. Matamoros No.2 San Mateo Xalpa C.P. 16800	41.48		15.19		28.33	
22	Miguel Flores Sandoval/Gladiolas No.98 Barrio San Antonio C.P. 16000		51.23	22.36		36.79	
23	Luis Armando Camón Alarcón/Av. Hidalgo No.7192 Sta Ines C.P. 16810	30.94		6.19		18.56	
24	Marcelino Olivares García/Av. Juárez No.57 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810		25.86	11.21		18.54	
25	Porfirio Flores Carranza/Av. Juárez No.62 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810		13.24	9.15		11.20	
	Media Aritmética Anual	23.46	22.07	12.99	12.78	17.85	
	Media Geométrica Anual	14.56	18.92	9.86	12.78	14.95	
	Desviación Estandar	25.24	13.57	7.42	0.56	11.81	

Tabla 5.2.17 Resultados de Concentración de ^{222}Rn en Exteriores de Viviendas en Xochimilco (HST)

ID	USUARIO/DIRECCION/TELEFONO	Concentración de ^{222}Rn (Bq/m^3)				
		VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	PROMEDIO ANUAL
10	Martín Enriquez Gonzalez/Nvo León No.1084 Sn Gregorio Atlapulco C.P.16600	9.73		7.05		8.39
1	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	3.11		5.90	5.16	4.72
11	Flavio U. Mendoza López/Lázaro Cárdenas No.7 bis Cerro Grande Sn Lucas C.P. 16	0.18		9.23		4.70
	Media Aritmética Anual	4.34		7.39	5.16	5.94
	Media Geométrica Anual	1.75		7.27	5.16	5.71
	Desviación Estandar	4.89		1.69		2.12

Figura 5.2.9 Concentración de ^{222}Rn promedio anual en interiores de viviendas en Xochimilco



Ahora bien, de acuerdo con los resultados obtenidos de concentración de ^{222}Rn con los electretos de corto plazo (HST) podemos observar que hay una gran discrepancia comparados con lo de largo plazo (LLT), como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.2.18 de concentración ^{222}Rn (Bq/m³) en Xochimilco

	Media Aritmética	Media Geométrica	Rango (Prom. Anual)
Sistema HST	17.85	14.95	6 - 59
Sistema LLT	222.25	183.97	46-465
México (Prom. Gral.) ³⁹	141	89.0	4-1193

El % de variabilidad de la concentración de ^{222}Rn medes de 87% por abajo del promedio general obtenido, hasta el momento, para México.

Una de las principales razones por las que la concentración de ^{222}Rn es más alto con la cámara L es que ésta se ve afectada con el Torón (^{220}Rn), mientras que la

³⁹ Martínez, T.; *et al. Op. cit.*, p. 232-233

cámara H; por ser de un volumen mayor, no se ve afectada por el Torón (^{220}Rn), ya que el tiempo de vida media del Torón (^{220}Rn) es de 55.6 segundos.

5.2.3 REPRESENTACIÓN BIDIMENSIONAL ENTRE CONCENTRACIÓN DE ^{222}Rn Y EXPOSICIÓN GAMMA (γ).

- Con el sistema LLT:

Figura 5.2.10 Diagrama de dispersión de puntos entre la exposición de radiación gamma (γ) y la concentración de ^{222}Rn estacional de viviendas en Xochimilco

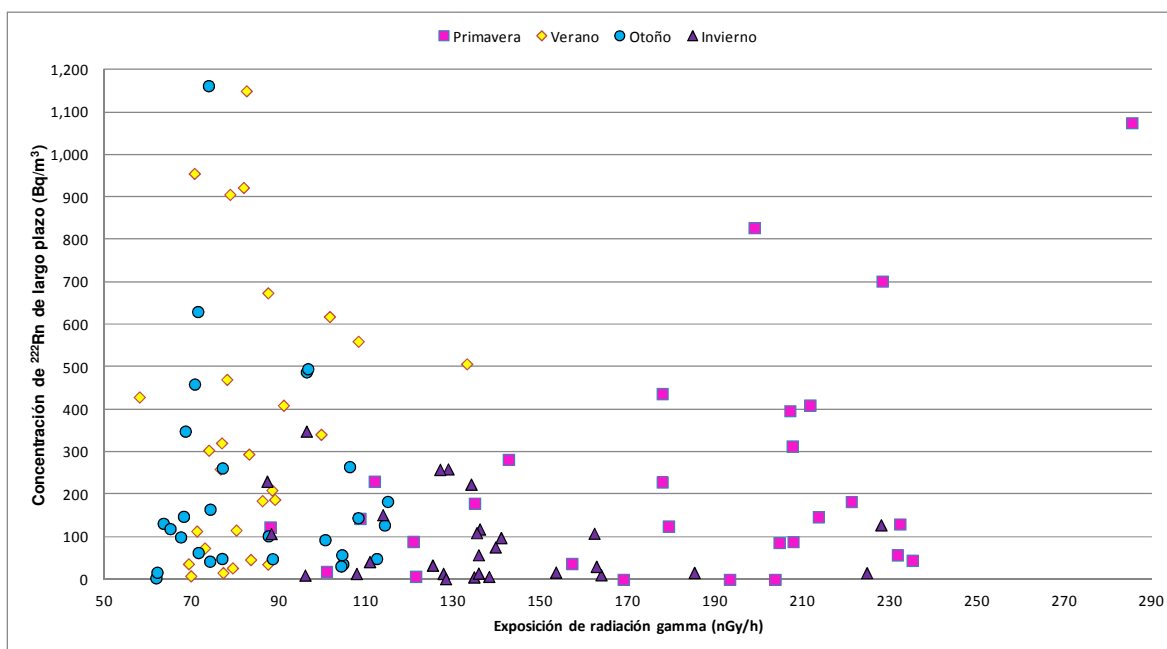
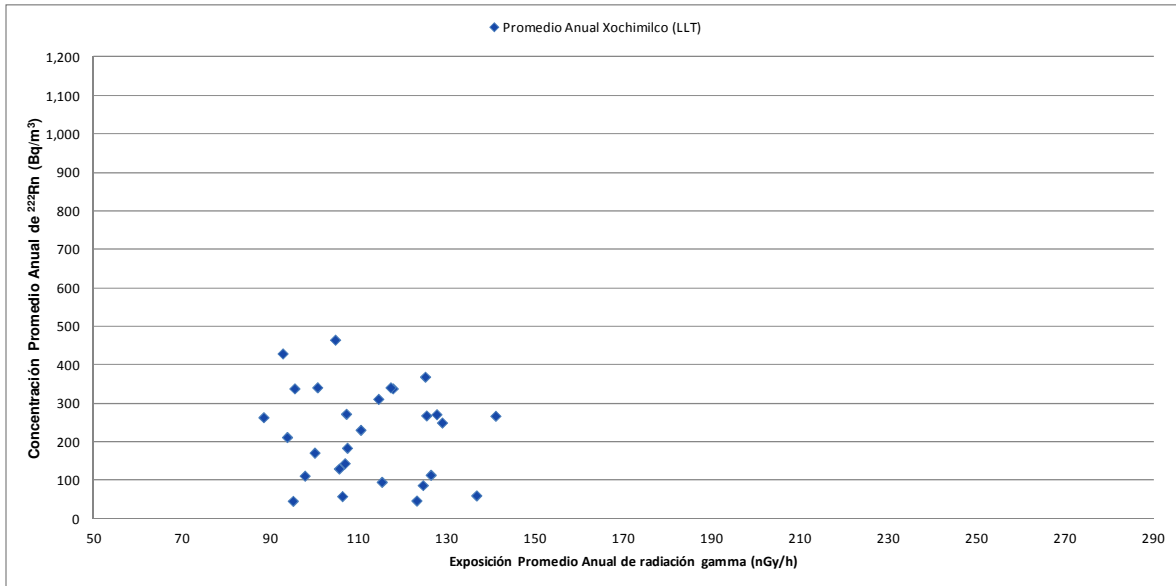


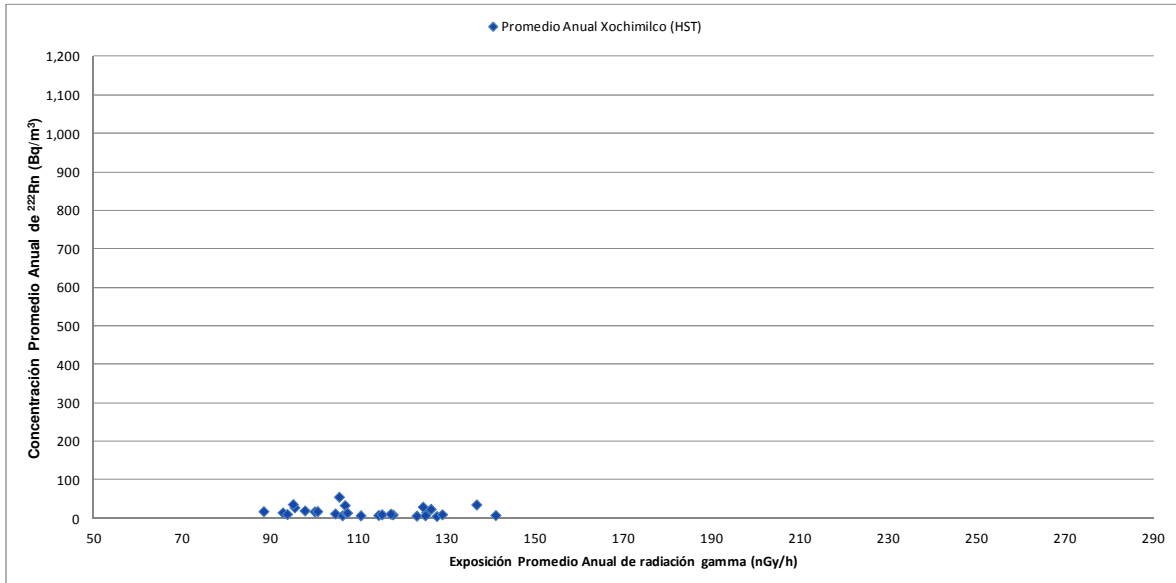
Figura 5.2.11 Diagrama de dispersión de puntos entre la exposición de radiación gamma (γ) y concentración de ^{222}Rn promedio anual en interiores de viviendas en Xochimilco



Para las diferentes estaciones del año, la gráfica muestra un agrupamiento muy definido de los puntos por cada período en la exposición de gamma. Se nota claramente el desplazamiento hacia la derecha de los datos en la estación primavera; como lo comentamos anteriormente, esto es debido a que no tenemos información de cuando fueron borrados los dosímetros. Otro punto importante es que no parece haber correlación entre la exposición gamma y la composición del suelo

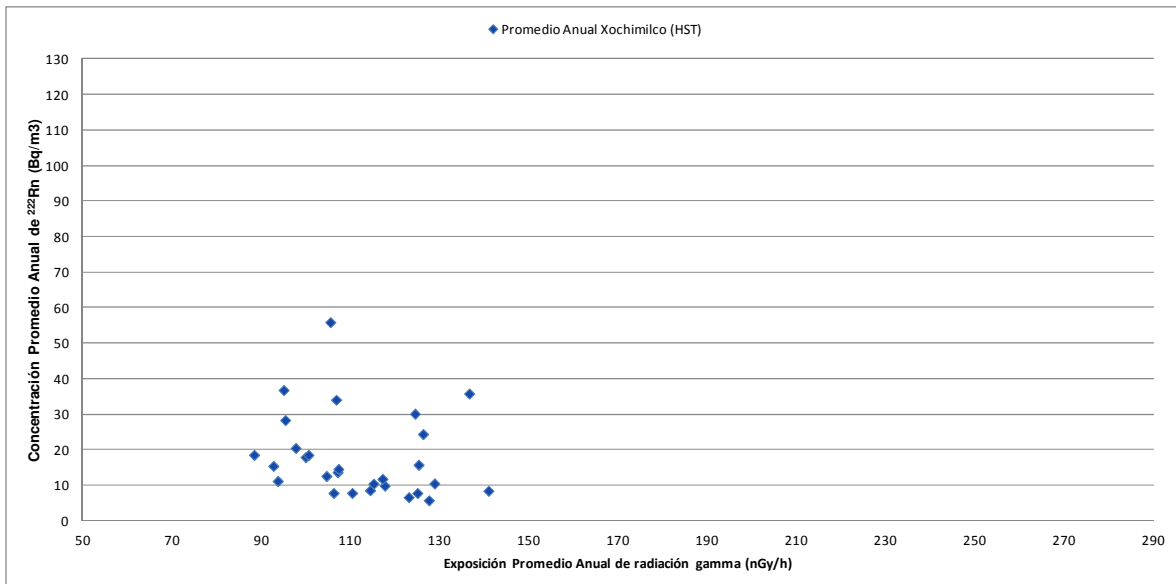
- Con el sistema HST

Figura 5.2.12 Diagrama de dispersión de puntos entre la exposición de radiación gamma (γ) y la concentración de ^{222}Rn promedio anual en interiores de viviendas en Xochimilco



Debido a que la concentración de Radón es muy baja con el sistema HST, cambiamos los límites, quedando la gráfica como sigue:

Figura 5.2.13 Diagrama de dispersión de puntos entre la exposición de radiación gamma (γ) y la concentración de ^{222}Rn promedio anual en interiores de viviendas en Xochimilco



Tampoco parece haber correlación entre la exposición gamma y la composición del suelo con las mediciones de corto plazo. Sin embargo, al comparar las gráficas de dispersión entre fondo gamma con las concentraciones de corto y largo plazo, se observa un comportamiento muy similar entre las mediciones.

Este comportamiento nos da la pauta para tratar de correlacionar las mediciones de corto y largo plazo y encontrar las ecuaciones para predecir, a partir de mediciones de corto período en una estación determinada, la concentración anual promedio en un punto dado dentro de la delegación Xochimilco.

5.3 RESULTADOS DE LOS ERRORES ALEATORIOS CON LOS SISTEMAS E-PERM PARA CORTO Y LARGO PLAZO

Utilizando las ecuaciones 6, 7 y 8 expresadas en el capítulo 3, calculamos el error aleatorio total para las mediciones de corto y largo plazo de concentración de ^{222}Rn del sistema E-PERM. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.3.1.

Tabla 5.3.1 Resultado de los errores calculados para las diferentes configuraciones E-PERM

Configuración	E_1 (%)	E_2 (%)	E_3 (%)	E_T (%)
LLT	5	20.67	8.15	24.73
HST	5	2.18	32.97	33.37

Al comparar los resultados de los errores, podemos observar que, en el caso del E_2 , es menor para la cámara H, debido a que hay una mayor caída de voltaje; mientras que, para el E_3 , es mayor para la cámara H, debido a que la concentración de ^{222}Rn es baja, por lo que el E_3 tiende a incrementarse.

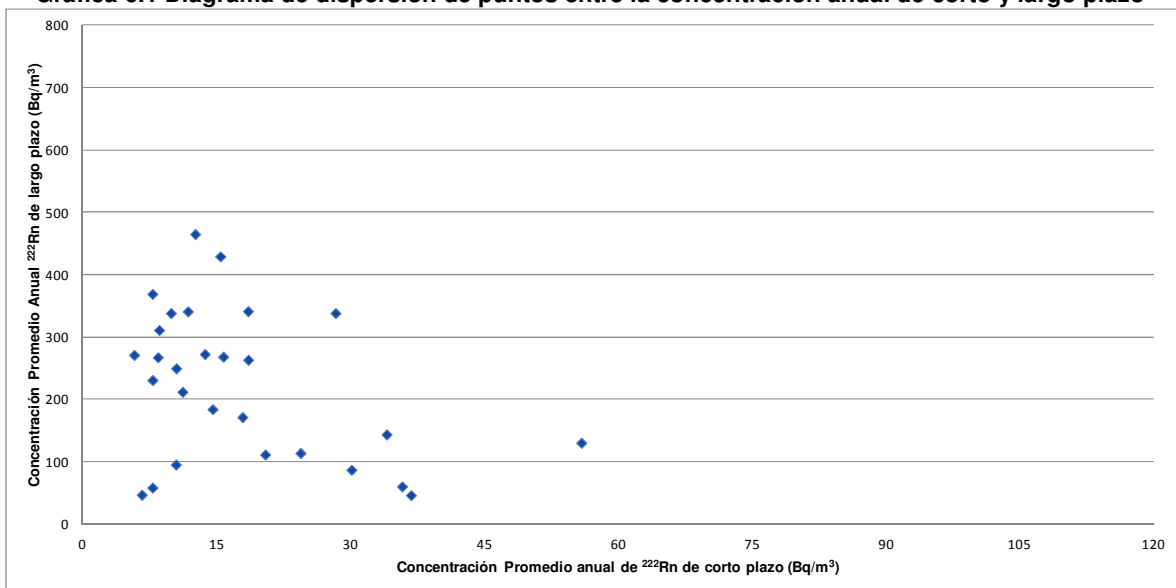
CAPÍTULO 6 CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES DE CORTO Y LARGO PLAZO DE ^{222}Rn

Ya que, experimentalmente tenemos mediciones de corto plazo (con el sistema HST) y mediciones de largo plazo (con el sistema LLT) vamos tratar de correlacionar los datos con la finalidad de obtener ecuaciones para pronosticar, a través de mediciones de corto plazo, la concentración promedio anual de ^{222}Rn en interiores de las Viviendas de Xochimilco.

Al hablar de correlación, nos referimos a la relación existente entre dos variables, que en nuestro caso son las mediciones de corto plazo (HST) y largo plazo (LLT).

De acuerdo con White, *et al*⁴⁰ y Martinez, *et al*,⁴¹ una gráfica de dispersión de las mediciones de concentración de radón en interiores muestra que la concentración Promedio Anual en Viviendas (CPAV) de largo plazo y las mediciones de corto plazo (X), es una variación no lineal y que CPAV incrementa, en la mayoría de los casos, a medida que aumenta X, cómo se puede observar en la siguiente gráfica:

Gráfica 6.1 Diagrama de dispersión de puntos entre la concentración anual de corto y largo plazo



⁴⁰ White, S. B.; *et al*. Predicting the Annual Concentration of Indoor ^{222}Rn from one or more Short-Term Measurement, 1994, p. 56

⁴¹ Martinez, T, *et al*. Relationship Between Short and Long Term Radon Measurement, 2001, p. 687-688

La ecuación matemática para relacionar las mediciones de radón de corto y largo período en interiores de viviendas es:⁴²

$$CPAV_i = e^\alpha X_i^\beta e^{\epsilon_i} \quad (1)$$

Donde:

$CPAV_i$ = Concentración Promedio Anual de ^{222}Rn en la zona habitable para la i ésima vivienda,

X_i = Concentración de corto período (5 días) de ^{222}Rn , tomada con el sistema HST en la zona habitable para la i ésima vivienda durante una estación, o la media de dos, tres ó cuatro diferentes estaciones,

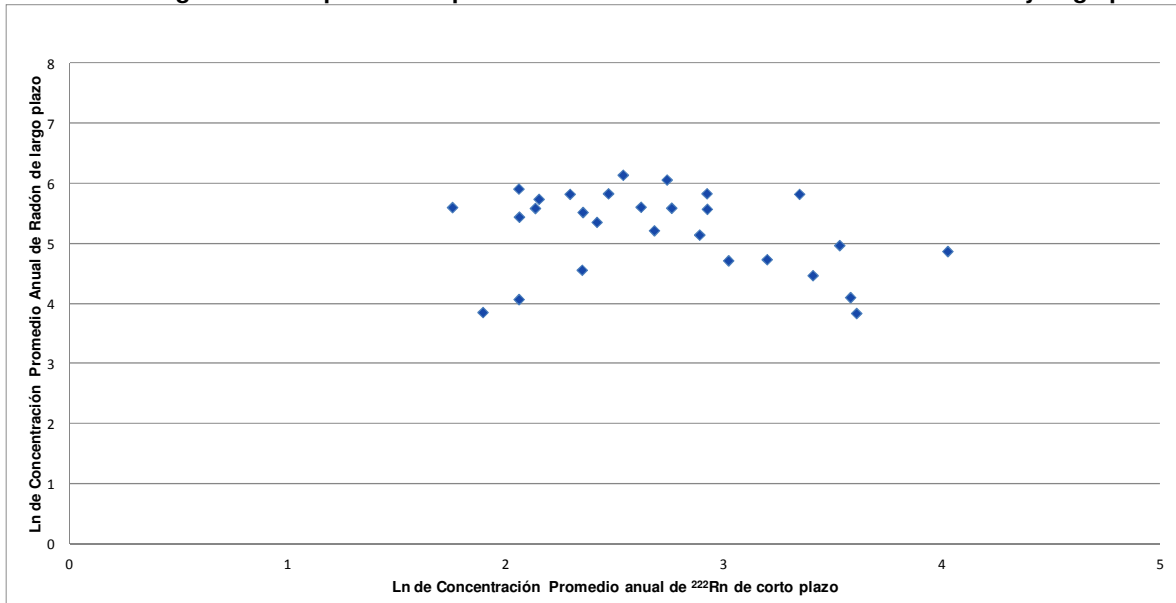
α, β = parámetros a ser estimados

ϵ_i = error para la i ésima vivienda (se asume que presenta una distribución normal con media igual a cero y varianza= σ^2).

Al aplicarle una transformación logarítmica a la ecuación (1), la convierte a un modelo simple de regresión con errores que son homogéneos y aditivos:

$$\ln(CPAV_i) = \alpha + \beta * \ln X_i + \epsilon_i \quad (2)$$

Gráfica 6.2 Diagrama de dispersión de puntos entre Ln de Concentración Anual de corto y largo plazo



⁴² White, S. B. *et al. Op. cit.*

Utilizaremos el método de regresión lineal para establecer la ecuación de regresión de Y sobre X. En forma generalizada la ecuación de la recta es:

$$Y' = A + BX \quad (3)$$

Donde:

A y B son constantes de correlación que debemos calcular, como sigue (método de mínimos cuadrados):⁴³

$$A = \bar{Y} - B * \bar{X} \quad (3.1)$$

$$B = \frac{n * \sum_{i=1}^n X_i * Y_i - \sum_{i=1}^n X_i * \sum_{i=1}^n Y_i}{n * \sum_{i=1}^n X_i^2 - \sum_{i=1}^n Y_i} \quad (3.2)$$

\bar{X} y \bar{Y} = Media aritmética de las variables

Podemos observar entonces que la ecuación (2) es de la forma de la ecuación (3) de regresión lineal:

$$\ln Y' = A + B * \ln X = \alpha + \beta * \ln X \quad (4)$$

Donde:

$\ln(CPAV) = \ln Y'$

$A = \alpha$, $B = \beta$

Quedando nuestra ecuación de la siguiente manera:

$$\ln Y' = A + B * \ln X \quad (5)$$

Con la ecuación (5), procedemos al cálculo de los valores de los parámetros (A) y (B) de la ecuación. Utilizando los valores de concentración anual de corto y largo período, donde:

⁴³ Gil, Javier, Padilla Ma. Teresa. Técnicas para el Estudio entre Variables. Universidad de Sevilla, España, 2007, p. 84-85

X= representa la Concentración Promedio Anual a Corto Plazo

Y= representa la Concentración Promedio Anual a Largo Plazo

Tabla 6.1 Resultados de Concentración de ²²²Rn en Xochimilco para obtener ecuación de regresión

ID	USUARIO/DIRECCION	PROMEDIO ANUAL LLT (Bq/m3)	PROMEDIO ANUAL HST (Bq/m3)	Ln X	Ln Y	Ln X*Ln Y	(Ln X)2	(Ln Y)2
1	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	429.37	15.44	2.74	6.06	16.59	7.49	36.75
1	Dionisio Ramírez Rodríguez/Chabacanos No.2 Col. Sta. Ines C.P.16810	465.03	12.63	2.54	6.14	15.58	6.43	37.73
2	Araceli Sosa Castillo/Prol. E. Zapata No.16 Santiago Tepalcatalpan C.P. 16200	171.60	17.92	2.89	5.15	14.85	8.33	26.47
3	Uriel Gerardo Narciso/a3 de Sept. No.52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	130.46	55.89	4.02	4.87	19.60	16.19	23.73
3	Uriel Gerardo Narciso/a3 de Sept. No.52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	58.69	7.83	2.06	4.07	8.38	4.24	16.58
4	Araceli Paez Enriquez/Av. Chapultepec No.20 Sn Gregorio Atlapulco C.P. 16600	338.40	9.90	2.29	5.82	13.35	5.25	33.92
5	Ernesto Salinas Raya/Tejocotes No.19 Sta. Ines C.P.16810	268.45	15.77	2.76	5.59	15.43	7.61	31.28
6	Virginia Muñoz de Villar/Calle 2 No.8 Sn Mateo Xalpa C.P.16800	87.28	30.14	3.41	4.47	15.22	11.60	19.97
7	Cristina Castellanos Posas/Gpe I. Ramírez No.339 Sn Lucas Xoch. C.P.16330	111.76	20.47	3.02	4.72	14.24	9.11	22.24
8	José A. Alvarez Trejo/Cam. Real a Sn. Andrés No.3 Sn Lorenzo Atem. C.P.16400	267.50	8.44	2.13	5.59	11.92	4.55	31.24
9	Ma. Imelda Gerardo Narciso/Año de Juárez No.113bis Sn Luis Tlaxial. C.P.16610	311.24	8.58	2.15	5.74	12.34	4.62	32.95
10	Martín Enriquez Gonzalez/Nvo León No.1084 Sn Gregorio Atlapulco C.P.16600	144.06	34.06	3.53	4.97	17.54	12.45	24.70
11	Flavio U. Mendoza López/Lázaro Cárdenas No.7 bis Cerro Grande Sn Lucas C.P. 16	47.23	6.64	1.89	3.85	7.30	3.58	14.86
12	Manuel Olivares Becerril/ 2 de Abril No.21Bis /Santiago Tepalcatalpan C.P. 16200	95.63	10.46	2.35	4.56	10.71	5.51	20.80
13	Diana Posales Rodríguez/Gpe. I. Ramírez No.200 Barrio San Marcos C.P. 16050	272.63	13.70	2.62	5.61	14.68	6.85	31.45
14	Viridiana Aguirre López/Roselina No.13 San Bernardino C.P. 16030	60.56	35.80	3.58	4.10	14.68	12.80	16.84
14	Viridiana Aguirre López/Roselina No.13 San Bernardino C.P. 16030	113.99	24.42	3.20	4.74	15.13	10.21	22.43
15	Artemisa San Germán Jiménez/Central No.12 Xaltocán C.P. 16090	271.36	5.77	1.75	5.60	9.82	3.07	31.40
16	Anacleto Méndez Méndez/Barrio Guanapala No.82 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	249.88	10.50	2.35	5.52	12.98	5.53	30.48
17	Leticia Fernández Trejo/Pedro Benavides No.50 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	369.09	7.83	2.06	5.91	12.16	4.23	34.94
18	Araceli Erazo Rosas/Francisco Saravia No.7 Sta Cecilia Tepetlapa C.P. 16880	184.34	14.57	2.68	5.22	13.97	7.18	27.21
19	Alberto Jiménez Lavalla/La Paz No.45 Tulyehualco C.P.	341.21	11.80	2.47	5.83	14.40	6.09	34.02
20	Montserrat Álvarez Trejo/Industria No.19 Sta Cruz Xochitepec C.P. 16100	231.05	7.85	2.06	5.44	11.21	4.24	29.62
21	Gregorio Rodríguez Ramírez/Prol. Matamoros No.2 San Mateo Xalpa C.P. 16800	338.49	28.33	3.34	5.82	19.48	11.18	33.92
22	Miguel Flores Sandoval/Gladiolas No.98 Barrio San Antonio C.P. 16000	46.47	36.79	3.61	3.84	13.84	13.00	14.74
23	Luis Armando Camón Alarcón/Av. Hidalgo No.7192 Sta Ines C.P. 16810	263.57	18.56	2.92	5.57	16.28	8.53	31.07
24	Marcelino Olivares García/Av. Juárez No.57 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810	341.45	18.54	2.92	5.83	17.03	8.53	34.03
25	Porfirio Flores Carranza/Av. Juárez No.62 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810	212.13	11.20	2.42	5.36	12.94	5.84	28.70
	Media Aritmética Anual	222.25	17.85	2.70	5.21	13.99		
	Media Geométrica Anual	183.97	14.95	2.64	5.17			
	Desviación Estandar	120.13	11.81	0.59	0.68			
	Suma			75.73	146.01	391.66	214.25	

Tomando los valores de la tabla 6.1 y, considerando que tenemos 28 datos (25 viviendas + 3 duplicados) de las concentraciones promedio anual, de corto y largo período; sustituyendo en ecuación (3.2), tenemos:

$$B = \frac{28 * 391.66 - 75.73 * 146.01}{28 * 214.25 - 75.73^2} = \frac{-91.78}{263.47}$$

$$B = -0.35$$

Con el valor de B, procedemos a calcular el valor del parámetro A, utilizando la ecuación (1.1) en donde se emplean las medias aritméticas de las variables \bar{X} e \bar{Y} que se encuentran en la tabla 5.3.1, quedando entonces:

$$A = 5.21 - (-0.3484 * 2.70)$$

$$A = 6.16$$

Sustituyendo los valores de los parámetros A y B en la ecuación (5), obtenemos nuestra ecuación de correlación para nuestros valores de concentración promedio anual de corto y largo plazo:

$$\boxed{\ln Y' = 6.16 - 0.35 * \ln X} \quad (6)$$

A este tipo de relación se le llama relación lineal. Un modo de cuantificar la intensidad o importancia de ésta es mediante el cálculo de la covarianza entre las dos variables S_{xy} :

$$S_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i * Y_i)}{n} - \bar{X} * \bar{Y} \quad (7)$$

Sustituyendo valores de la concentración promedio anual tenemos:

$$S_{xy} = \frac{391.66}{28} - 14.10$$

$$S_{xy} = -0.12$$

La covarianza no servirá para calcular el coeficiente de correlación, es decir la relación existente entre las dos variables, su intensidad y su sentido.

La covarianza definida anteriormente como el promedio de desviaciones conjuntas de dos variables sobre sus respectivas medias, no resulta ser una medida adecuada de la relación entre dos variables, pues el valor de S_{xy} está relacionado con el valor de la media de X y con el valor de la media de Y. Por este motivo, si cambiamos la unidad de medida, la covarianza también se verá modificada.

En consecuencia, podemos afirmar que el valor de la covarianza depende de la unidad de medida. Para evitar el efecto de la unidad de medida sobre S_{xy} podemos dividir las puntuaciones diferenciales por las respectivas desviaciones típicas S_x y S_y . El nuevo índice de relación que obtenemos tendrá la ventaja de ser invariante

ante cualquier cambio en la unidad de medida. A este índice de correlación se le denomina **Coefficiente de Correlación de Pearson o Coeficiente de Correlación Producto-Momento**, y se denota por r_{xy} ⁴⁴

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})}{S_x} \frac{(Y_i - \bar{Y})}{S_y}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n \cdot S_x \cdot S_y} = \frac{S_{xy}}{S_x \cdot S_y} \quad (8)$$

Resulta difícil precisar a partir de qué valor de r_{xy} podemos considerar que existe una correlación lineal entre dos variables. Siempre debemos tener en cuenta para la interpretación el tipo de variables a las que se aplica. Sin embargo, para tener un referente, y siendo conscientes de que estos coeficientes no son aplicables a todas las situaciones⁴⁵, podemos considerar que:

$0.8 < r < 1$	Correlación muy alta
$0.6 < r < 0.8$	Correlación alta
$0.4 < r < 0.6$	Correlación moderada
$0.2 < r < 0.4$	Correlación baja
$0.0 < r < 0.2$	Correlación muy baja
$r = 0.0$	Correlación nula

Se procede al cálculo del coeficiente de Pearson r que permite expresar cuantitativamente el grado de relación que hay entre dos variables:

$$r_{xy} = \frac{-0.12}{0.58 * 0.67}$$

$$r_{xy} = -0.30$$

⁴⁴ *Idem*, p. 78

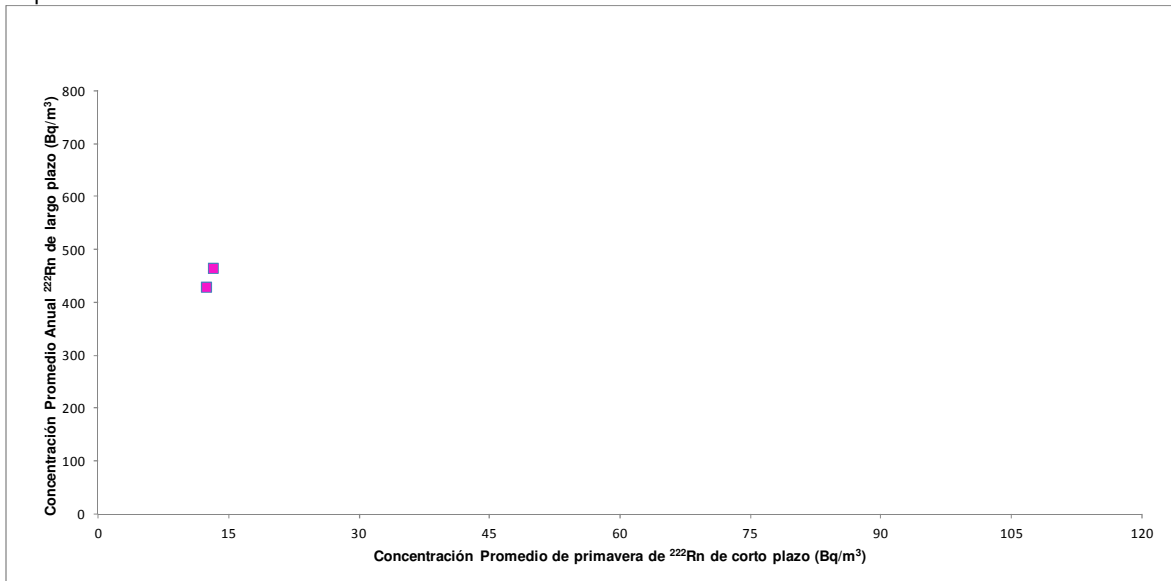
⁴⁵ *Idem*, p. 82

Tabla 6.2 Tabla para obtener ecuación factor de Correlación de Pearson

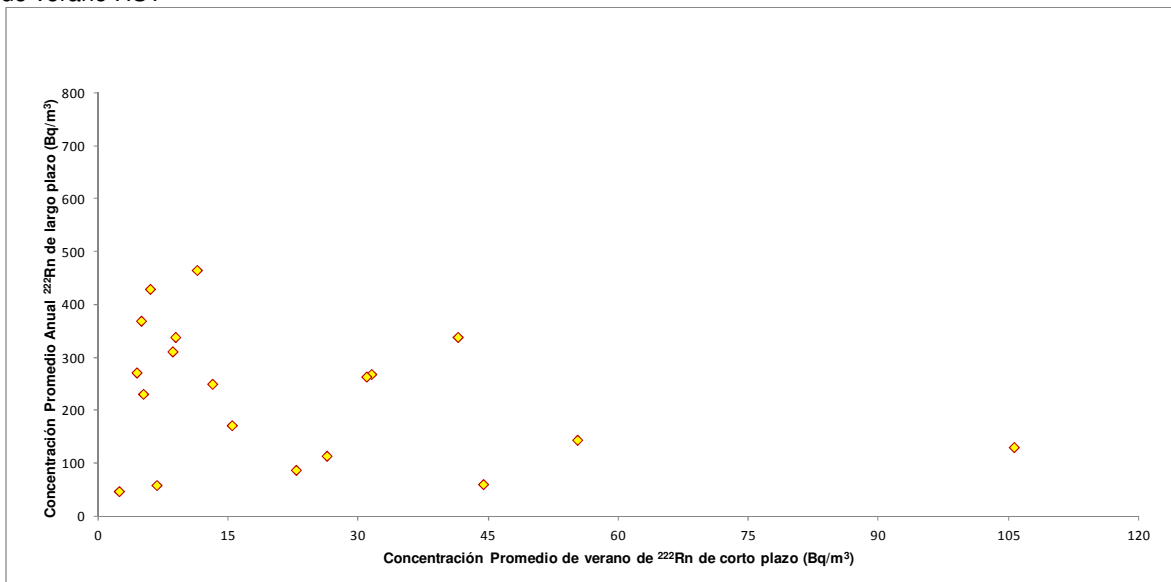
Promedio Anual HST Xochimilco	NOMBRE	Promedio Anual LLT Xochimilco	Ln Promedio anual HST	Ln Promedio anual LLT	X*Y	(Xi- Xprom)	(Yi- Yprom)	(Xi- Xprom) ²	(Yi- Yprom) ²
15.44	Dionisio Ramírez Rodríguez/ Chabacanos #2 Col. Sta. Ines C.P.16810	429.37	2.74	6.06	16.59	0.03	0.85	0.00	0.72
12.63	Dionisio Ramírez Rodríguez/ Chabacanos #2 Col. Sta. Ines C.P.16810	465.03	2.54	6.14	15.58	- 0.17	0.93	0.03	0.86
17.92	Araceli Sosa Castillo/ Prol. E. Zapata No. 16 Santiago Tepalcatalpan C.P. 16200	171.60	2.89	5.15	14.85	0.18	0.07	0.03	0.00
55.89	Uriel Gerardo Narciso/ a3 de Sept. No. 52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	130.46	4.02	4.87	19.60	1.32	- 0.34	1.74	0.12
7.83	Uriel Gerardo Narciso/ a3 de Sept. No. 52 Sn. Gregorio Atlapulco C.P.16600	58.69	2.06	4.07	8.38	- 0.65	- 1.14	0.42	1.31
9.90	Araceli Paez Enriquez/ Av. Chapultepec No. 20 Sn Gregorio Atlapulco C.P.16600	338.40	2.29	5.82	13.35	- 0.41	0.61	0.17	0.37
15.77	Ernesto Salinas Raya/ Tejocotes No. 19 Sta. Ines C.P.16810	268.45	2.76	5.59	15.43	0.05	0.38	0.00	0.14
30.14	Virginia Muñoz de Villar/ Calle 2 No. 8/ Sn Mateo Xalpa C.P.16800	87.28	3.41	4.47	15.22	0.70	- 0.75	0.49	0.56
20.47	Cristina Castellanos Rosas/ Gpe I. Ramírez No. 339 Sn Lucas Xoch. C.P.16330	111.76	3.02	4.72	14.24	0.31	- 0.50	0.10	0.25
8.44	José Antonio Alvarez Trejo/ Cam. Real a Sn. Andrés No. 3 Sn Lorenzo A. C.P.16400	267.50	2.13	5.59	11.92	- 0.57	0.37	0.33	0.14
8.58	Ma. Imelda Gerardo Narciso/ Año de Juárez No. 113bis Sn Luis Tlaxial. C.P.16610	311.24	2.15	5.74	12.34	- 0.55	0.53	0.31	0.28
34.06	Martín Enriquez Gonzalez/ Nvo León No. 1084 Sn Gregorio Atlapulco C.P.16600	144.06	3.53	4.97	17.54	0.82	- 0.24	0.68	0.06
6.64	Flavio Ulises Mendoza López/ Lázaro Cárdenas No. 7 bis Cerro Grande San Lucas C.P. 16800	47.23	1.89	3.85	7.30	- 0.81	- 1.36	0.66	1.85
10.46	Manuel Olivares Beceril/ 2 de Abril No. 21Bis / Santiago Tepalcatalpan C.P. 16200	95.63	2.35	4.56	10.71	- 0.36	- 0.65	0.13	0.43
13.70	Diana Rosales Rodríguez/ Gpe. I. Ramírez No. 200 Barrio San Marcos C.P. 16050	272.63	2.62	5.61	14.68	- 0.09	0.39	0.01	0.15
35.80	Viridiana Aguirre López/ Roselina No. 13 San Bernardino C.P. 16030	60.56	3.58	4.10	14.68	0.87	- 1.11	0.76	1.23
24.42	Viridiana Aguirre López/ Roselina No. 13 San Bernardino C.P. 16030	113.99	3.20	4.74	15.13	0.49	- 0.48	0.24	0.23
5.77	Artemisa San Germán Jímenez/ Central No. 12 Xaltocán C.P. 16090	271.36	1.75	5.60	9.82	- 0.95	0.39	0.91	0.15
10.50	Anacleto Méndez/ Barrio Guanalapa No. 82 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	249.88	2.35	5.52	12.98	- 0.35	0.31	0.12	0.09
7.83	Leticia Fernández Trejo/ Pedro Benavides No. 50 Sta Cruz Alcapixca C.P. 16500	369.09	2.06	5.91	12.16	- 0.65	0.70	0.42	0.48
14.57	Araceli Erazo Rosas/ Francisco Saravia No. 7 Sta Cecilia Tepetlapa C.P. 16880	184.34	2.68	5.22	13.97	- 0.03	0.00	0.00	0.00
11.80	Alberto Jímenez Lavalla/ La Paz No. 45 Tulyehualco C.P.	341.21	2.47	5.83	14.40	- 0.24	0.62	0.06	0.38
7.85	Montserrat Alvarez Trejo/ Industria No. 19 Sta Cruz Xochitepec C.P. 16100	231.05	2.06	5.44	11.21	- 0.64	0.23	0.42	0.05
28.33	Gregorio Rodríguez Ramírez/ Prol. Matamoros No. 2 San Mateo Xalpa C.P. 16800	338.49	3.34	5.82	19.48	0.64	0.61	0.41	0.37
36.79	Miguel Flores Sandoval/ Gladíolas No. 98 Barrio San Antonio C.P. 16000	46.47	3.61	3.84	13.84	0.90	- 1.38	0.81	1.89
18.56	Luis Armando Camón Alarcón/ Av. Hidalgo 7192 Sta Ines C.P. 16810	263.57	2.92	5.57	16.28	0.22	0.36	0.05	0.13
18.54	Marcelino Olivares García/ Av. Juárez No. 57 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810	341.45	2.92	5.83	17.03	0.22	0.62	0.05	0.38
11.20	Porfirio Flores Carranza/ Av. Juárez No. 62 San Andrés Ahuayucán C.P. 16810	212.13	2.42	5.36	12.94	- 0.29	0.14	0.08	0.02
17.85	Promedio Anual	222.25	2.70	5.21	13.99	0.00	-0.00	0.34	0.45

Los resultados obtenidos para las ecuaciones de correlación entre las Concentración Promedio Anual de Viviendas (CPAV) y las mediciones de corto plazo en las diferentes estaciones del año en Xochimilco se presentan a continuación:

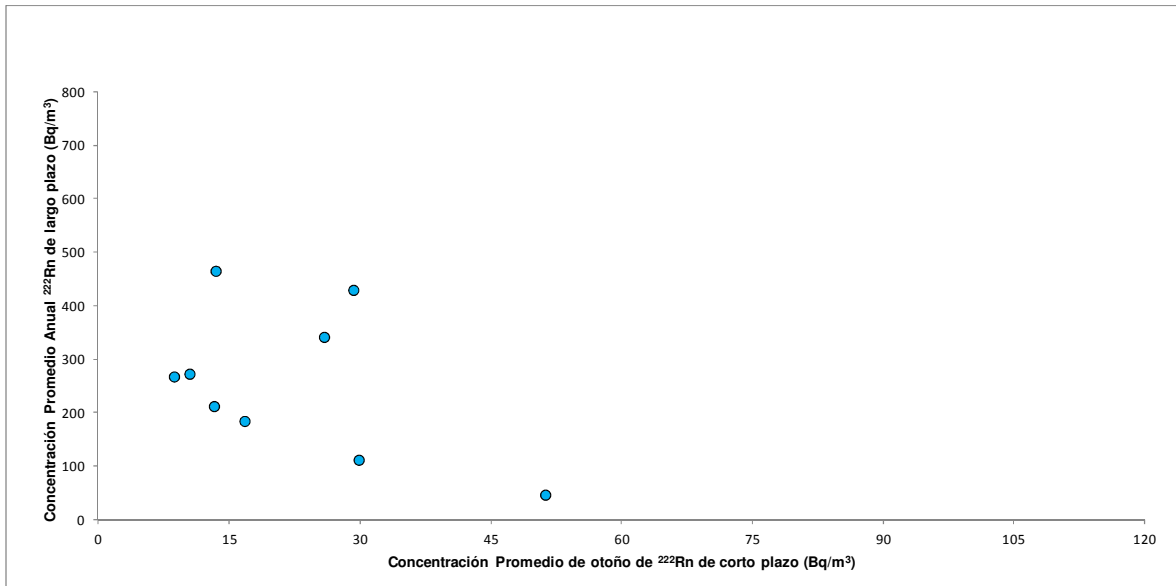
Gráfica 6.3 Relación entre el Promedio Anual de Concentración en Viviendas y la concentración de corto plazo de primavera HST



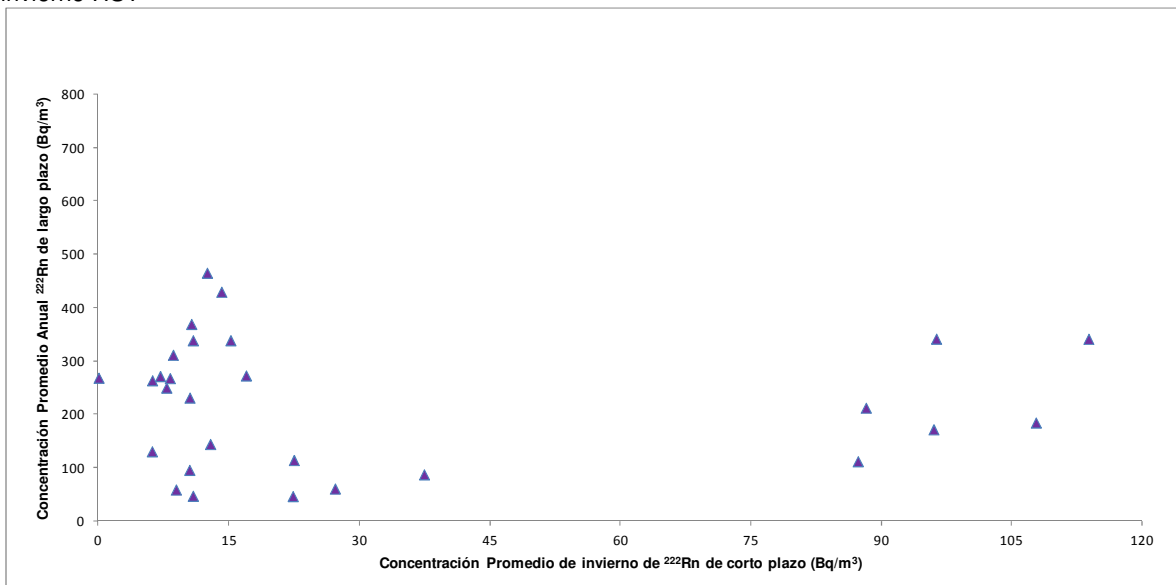
Gráfica 6.4 Relación entre el Promedio Anual de Concentración en Viviendas y la concentración de corto plazo de verano HST



Gráfica 6.5 Relación entre el Promedio Anual Concentración en Viviendas y concentración de corto plazo de otoño HST

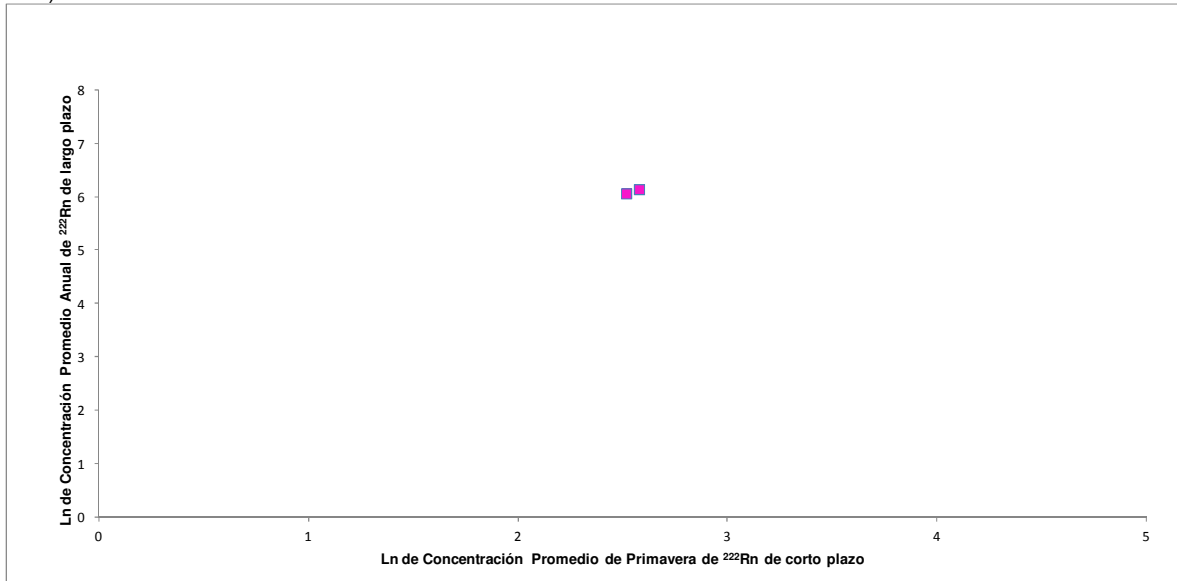


Gráfica 6.6 Relación entre el Promedio Anual Concentración en Viviendas y concentración de corto plazo de invierno HST

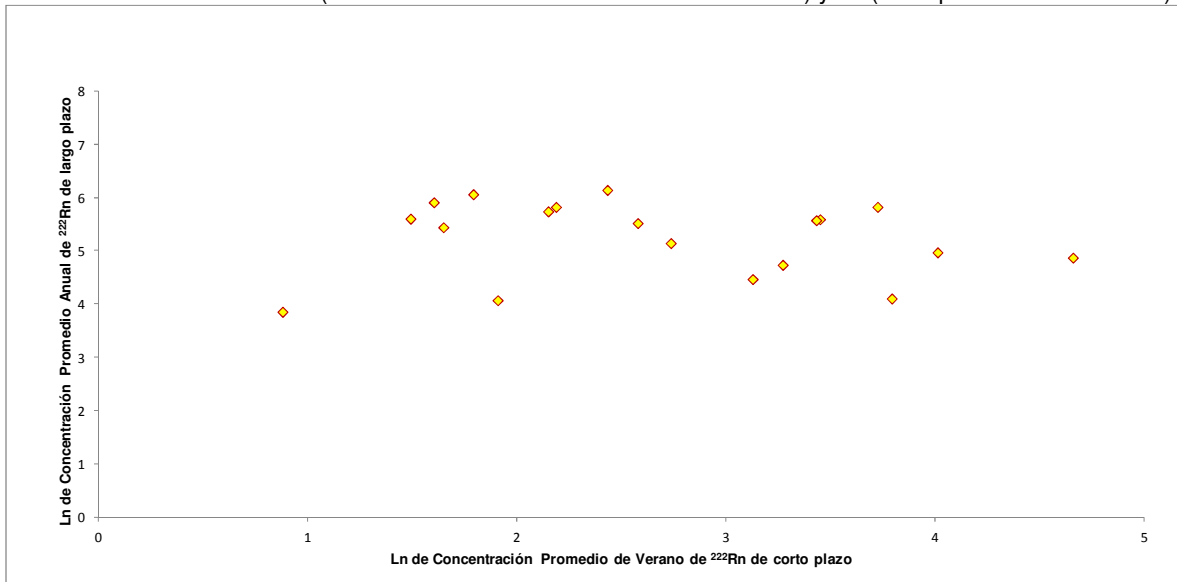


Aplicando el Logaritmo Natural a ambos datos tenemos los siguientes diagramas de dispersión:

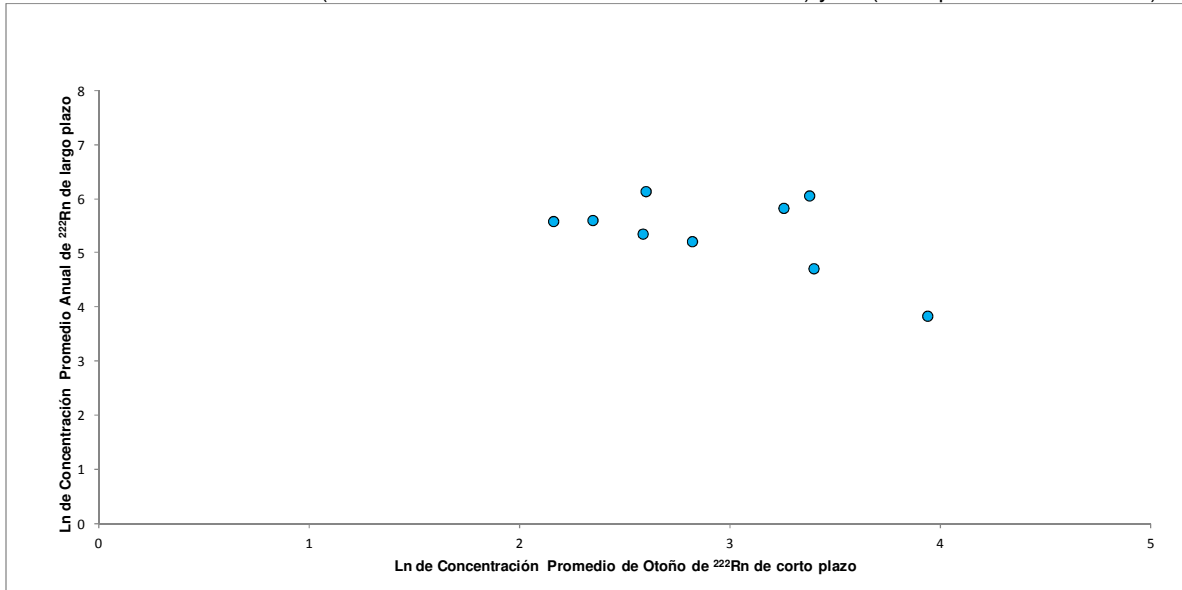
Gráfica 6.7 Relación entre Ln (Promedio Anual Concentración en Viviendas) y Ln (corto plazo de primavera HST)



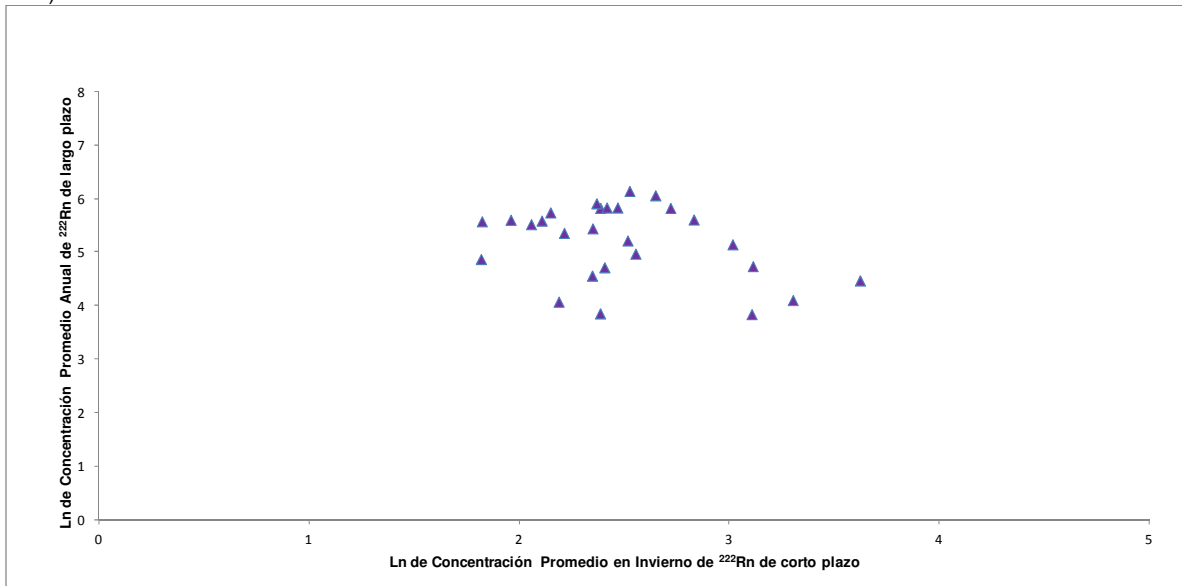
Gráfica 6.8 Relación entre Ln (Promedio Anual Concentración en Viviendas) y Ln (corto plazo de verano HST)



Gráfica 6.9 Relación entre Ln (Promedio Anual Concentración en Viviendas) y Ln (corto plazo de otoño HST)



Gráfica 6.10 Relación entre Ln (Promedio Anual Concentración en Viviendas) y Ln (corto plazo de invierno HST)



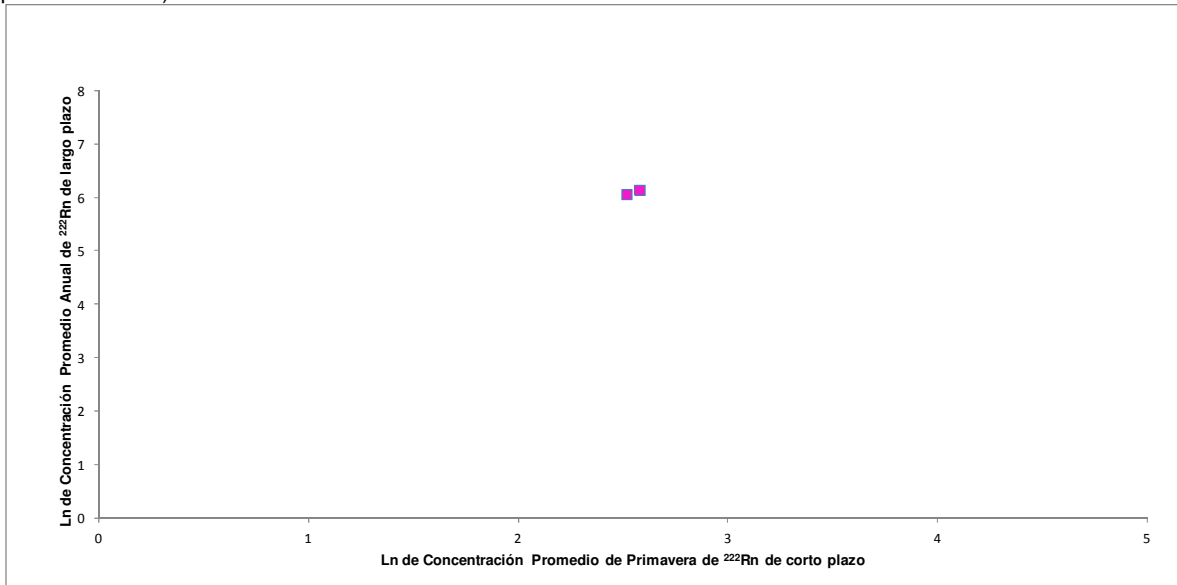
Para las gráficas de dispersión logarítmicas, obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 6.3. Ecuaciones para predecir el Ln de la Concentración Promedio Anual de ^{222}Rn en Viviendas, utilizando el Ln de la concentración de corto plazo estacional (HST)

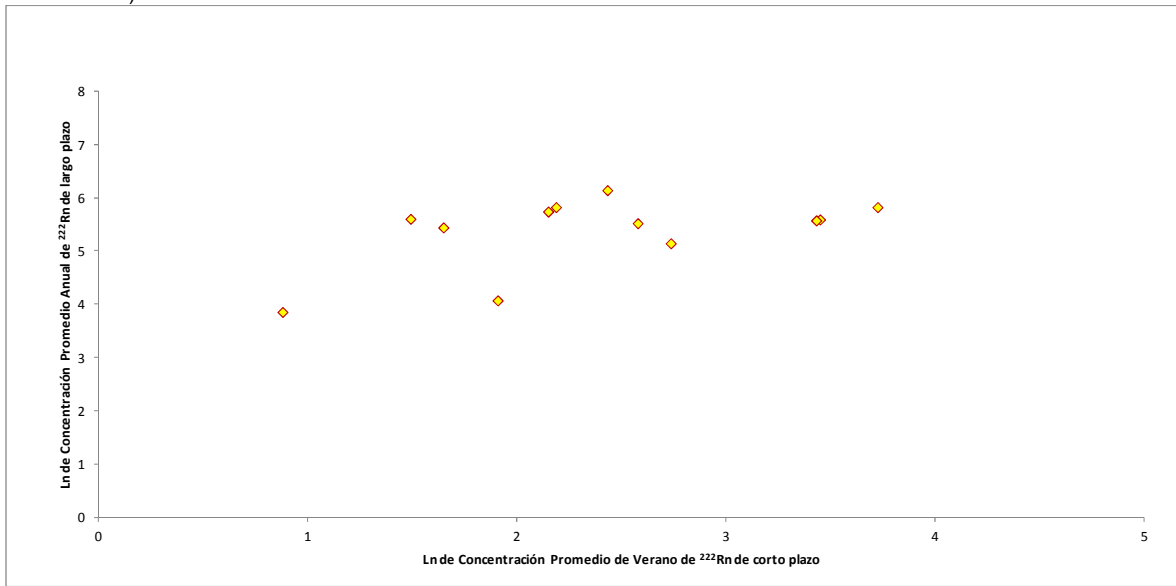
Estación del año datos de corto plazo	Tamaño de muestra	Ecuación para predicción (en escala logarítmica)	R	δ
Primavera	2	$\ln C_{PAV} = 5.84 + 0.12 \cdot \ln X$	1	\emptyset
Verano	19	$\ln C_{PAV} = 5.43 - 0.07 \cdot \ln X$	-0.11	0.72
Otoño	9	$\ln C_{PAV} = 7.47 - 0.71 \cdot \ln X$	-0.57	0.63
Invierno	27	$\ln C_{PAV} = 6.59 - 0.56 \cdot \ln X$	-0.35	0.66

Si eliminamos algunos de los datos que, de acuerdo con las gráficas de dispersión, están fuera de rango, obtuvimos los siguientes diagramas de dispersión:

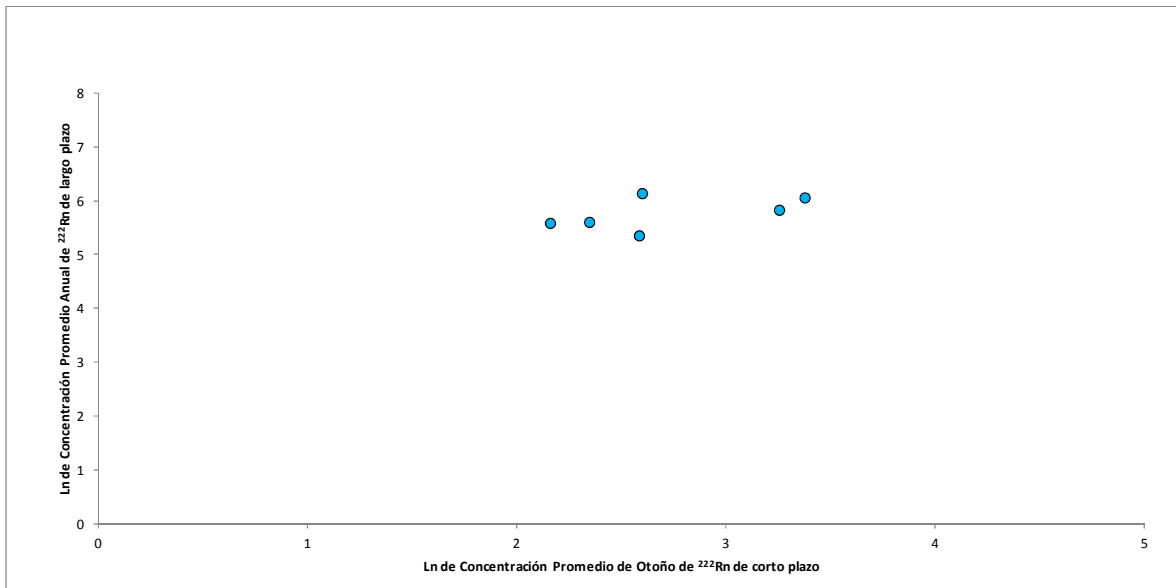
Gráfica 6.11 Relación entre Ln (Promedio Anual de la Concentración en Viviendas) y el Ln (corto plazo de primavera HST)



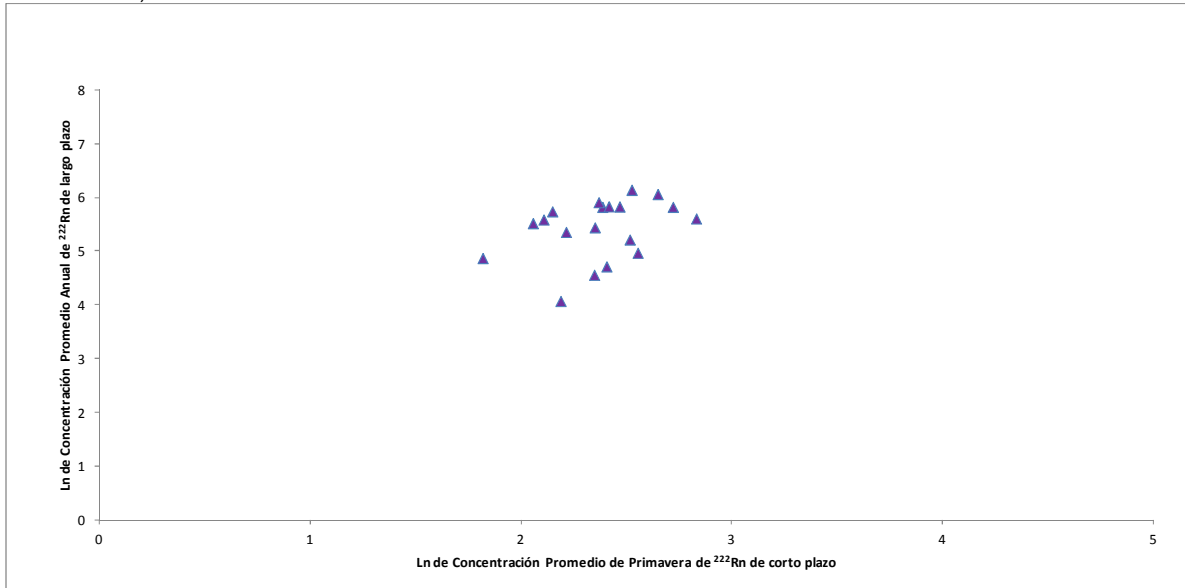
Gráfica 6.12 Relación entre Ln (Promedio Anual de la Concentración en Viviendas) y el Ln (corto plazo de verano HST)



Gráfica 6.13 Relación entre Ln (Promedio Anual de la Concentración en Viviendas) y el Ln (corto plazo de otoño HST)



Gráfica 6.14 Relación entre Ln (Promedio Anual de la Concentración en Viviendas) y el Ln (corto plazo de invierno HST)



Para las gráficas de dispersión logarítmicas, donde eliminamos los datos fuera de rango, obtuvimos los siguientes resultados:

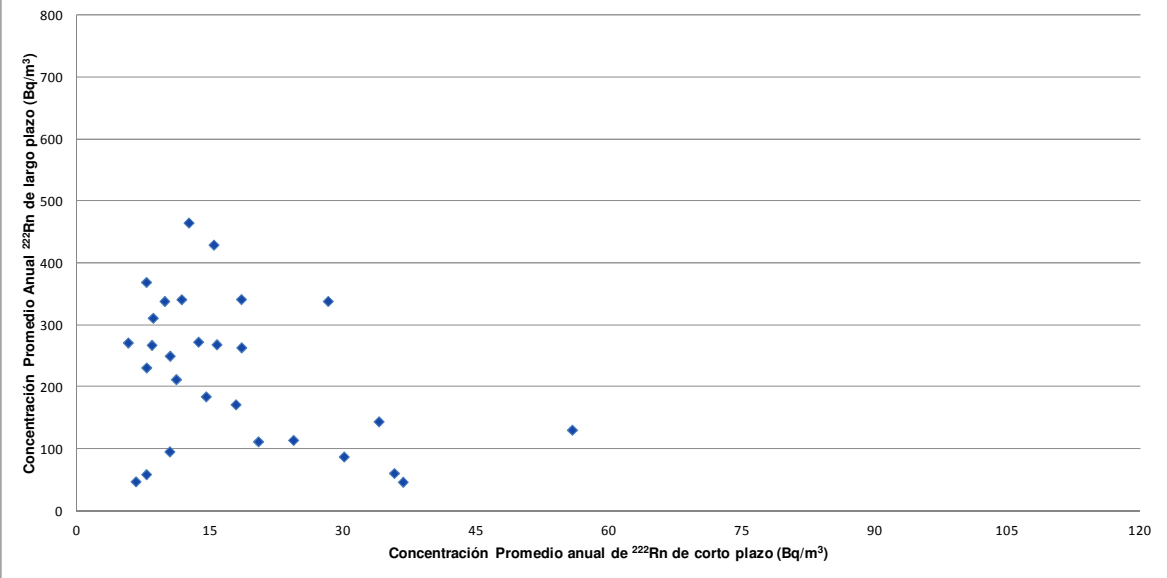
Tabla 6.4. Ecuaciones para predecir el Ln de la Concentración Promedio Anual de ²²²Rn en Viviendas, utilizando el Ln de la concentración de corto plazo estacional (HST), con eliminación de datos fuera de rango.

Estación del año de datos de corto período	Tamaño de muestra	Ecuación para predicción (en escala logarítmica)	R	δ
Primavera	2	$\ln C_{PAV} = 7.95 - 0.74 \cdot \ln X$	1	\emptyset
Verano	12	$\ln C_{PAV} = 4.33 + 0.43 \cdot \ln X$	0.53	0.62
Otoño	6	$\ln C_{PAV} = 4.86 + 0.33 \cdot \ln X$	0.54	0.29
Invierno	19	$\ln C_{PAV} = 3.51 + 0.81 \cdot \ln X$	0.36	0.54

Como podemos ver las gráficas se parecen más a una línea recta y las ecuaciones manejan un coeficiente de correlación baja a moderada, por lo que podemos decir que nuestras ecuaciones son aceptables para predecir las concentraciones anuales de radón a partir de mediciones de corto plazo con el sistema HST, excepto la ecuación de primavera ya que sólo tuvimos un par de mediciones de corto plazo, aunado a que dichas mediciones no se hicieron en el mismo año (las mediciones de corto plazo se hicieron un año después).

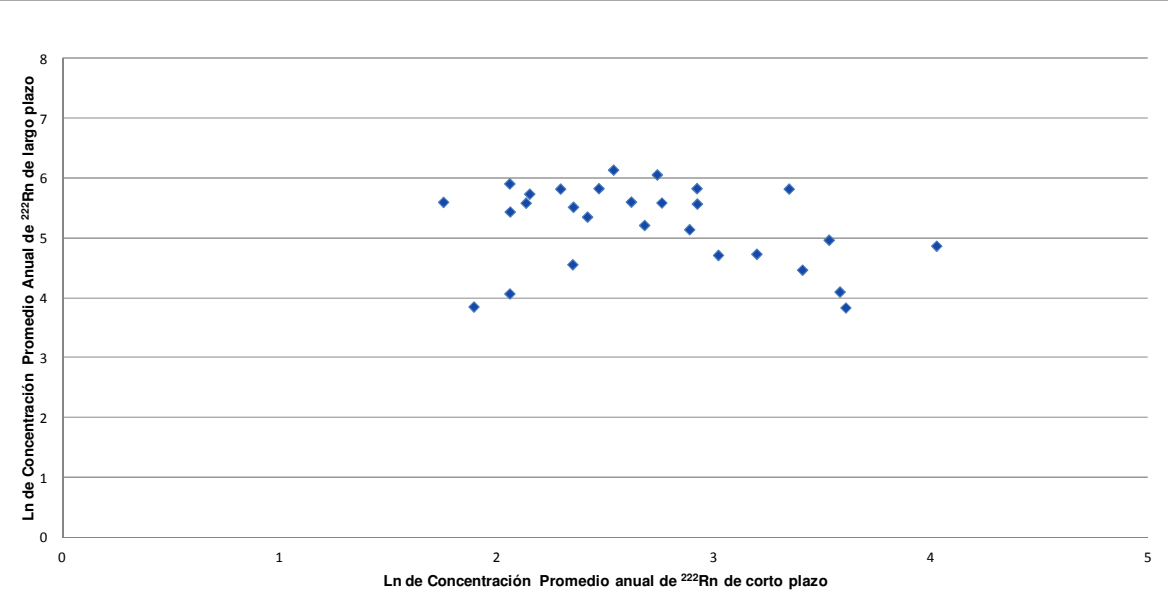
También elaboramos la regresión lineal para los datos de concentración anual de corto plazo. A continuación presentamos las gráficas de dispersión de la relación entre mediciones de corto y largo plazo:

Gráfica 6.15 Relación entre Promedio Anual Concentración en Viviendas y Promedio anual de corto plazo HST



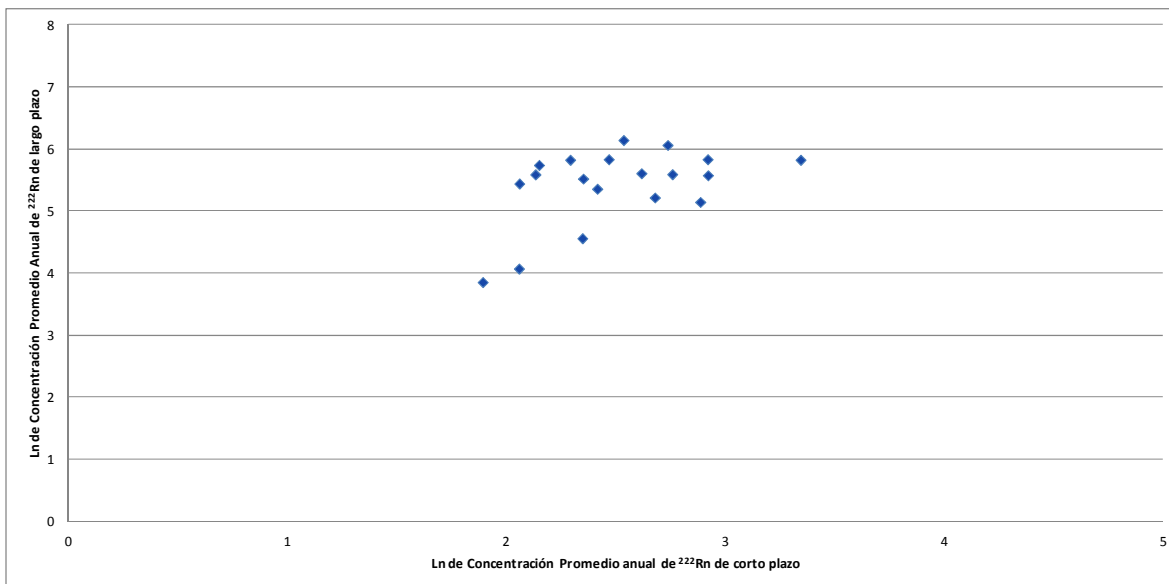
Aplicando en Ln en ambos datos tenemos:

Gráfica 6.16 Relación entre Ln (Promedio Anual Concentración en Viviendas) y Ln (Promedio anual de corto plazo HST)



Podemos observar que existen datos que nos alejan de la linealidad. Al eliminarlos obtenemos la siguiente gráfica de dispersión:

Gráfica 6.17 Relación entre Ln (Promedio Anual Concentración en Viviendas) y Ln (Promedio anual de corto plazo HST)



Para las gráficas de dispersión logarítmicas de las concentraciones anuales, obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 6.5. Ecuaciones para predecir el Ln de la Concentración Promedio Anual de ²²²Rn en Viviendas, utilizando el Ln de la concentración de corto plazo anual (HST)

	Tamaño de muestra	Ecuación para predicción (en escala logarítmica)	R	σ
Sin eliminar datos	28	$\ln CP_{AV} = 6.16 - 0.35 \cdot \ln X$	-0.23	0.76
Eliminando datos fuera de rango	19	$\ln CP_{AV} = 3.34 + 0.83 \cdot \ln X$	0.50	0.56

CONCLUSIONES

- ☹ El Promedio anual de radiación gamma (γ) en la delegación Xochimilco fue de 112 nGy/h , el cual, comparado con el promedio anual para el DF y área metropolitana, reportado por la UNSCEAR (105 nGy/h), es 6% mayor. El promedio anual en exteriores fue de 118 nGy/h ; esto es indicativo de que las construcciones actúan como un aislante de las radiaciones cósmicas
- ☹ La media aritmética Anual de Concentración de ^{222}Rn de las viviendas en la delegación Xochimilco fue de 222 Bq/m^3 , mientras que la media geométrica es de 184 Bq/m^3 . Este promedio esta por arriba del valor máximo permitido por la EPA (150 Bq/m^3), pero por debajo del valor máximo permitido por la Comunidad Europea (400 Bq/m^3).
- ☹ La razón principal de que la Concentración Promedio Anual de ^{222}Rn en las Viviendas de Xochimilco es alta, se debe a que se ubica, en mayor medida, en una zona lacustre y agrícola. Adicionalmente tiene las reservas de agua más importantes del DF, en su mayoría, son canales, vasos reguladores y depósitos aluviales al aire libre, provenientes del subsuelo.
- ☹ Otra de las razones es la corrección por el factor de altura, esta corrección nos incrementó un 34% la concentración de ^{222}Rn , a saber, de 166 Bq/m^3 (media geométrica 138 Bq/m^3), a 222 Bq/m^3 (media geométrica 184 Bq/m^3). Si no consideramos la corrección por altura y, tomando en cuenta que existe un error del +/-30% podemos concluir que el la **media geométrica anual (138 Bq/m^3)** está dentro del valor permisible por la **U.S. EPA**
- ☹ La mayor concentración de ^{222}Rn la tenemos en la estación Verano, debido a que la época de lluvia tiene lugar, principalmente en esta estación, mientras que la menor concentración la tenemos en invierno, debido, probablemente a que es la estación del año que menor precipitación pluvial tiene.
- ☹ Para la correlación entre la Concentración promedio Anual de ^{222}Rn y la concentración de corto plazo, utilizamos el modelo de regresión de la forma $LnY = A + B * LnX$; donde Y es la Concentración Promedio Anual de ^{222}Rn

en las Viviendas (CPAV) y X es la concentración de ^{222}Rn en una estación determinada. El factor de correlación obtenido (R) indica que la relación es moderada, así mismo el coeficiente (B) en todos los casos es menor de la unidad, esto indica que la relación entre la concentración de ^{222}Rn de corto y largo plazo es una relación no lineal.

- 👤 El modelo de regresión lineal, puede ser utilizado para obtener ecuación de predicción de Concentración Promedio Anual de ^{222}Rn en Viviendas de el Distrito Federal, ya que contamos con una gran cantidad de información de 14 de las 16 delegaciones que lo conforman.

BIBLIOGRAFIA

1. **BULBULIAN**, Silvia. La radiactividad, Fondo de Cultura Económica, 1^a Edición, 5^a Reimpresión, México, 1996
2. **CARRILLO**, Farga María Sol. Radiactividad Natural y Procesos de Decaimiento Radiactivo. Trabajo escrito-Tesis. F.Q., UNAM, México, 1992, 121 págs.
3. **United Nations**. Sources and effects of ionizing radiation. Report to General Assembly, with Scientific annexes 2008. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation. United Nations Sales Publication, New York, 2010.
4. **ROQUE**, Fernández Martín. Correlación entre las Mediciones a Corto y Largo Plazo de Radón en Interiores. Tesis. F.Q., UNAM, México, 1992, 106 págs.
5. **CALVO**, Fernández Blanca Esthela. Preparación de BaSO₄ con Diferentes Activadores para Dosimetría de la Radiación Ionizante. Tesis. F.Q., UNAM, México, 1995, 86 págs.
6. **TREJO**, Plascencia Juan Carlos. Monitoreo de Radón en la Delegación Gustavo A. Madero y Revisión de algunos Modelos Simuladores de su Comportamiento. Tesis. F.Q., UNAM, México, 1994, 190 págs.
7. **ARANGO**, Miranda Raúl. Dosimetría Ambiental. Tesis, F.Q., UNAM, México, 1995, 121 págs.
8. **MARTINEZ**, T.; Cabrera, L.; Navarrete, M.; García, J. J.; González, P.; Ramírez, A.; Martínez, U. Gamma Radiation and Radon Levels in Mexico City Dwellings. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 193, No. 2, 1995. Págs 259-268.
9. **MARTINEZ**, T.; Lartigue, J.; Navarrete, M.; Cabrera, L.; Gonzalez, P.; Ramírez, A.; Elizarrarás V. Long term and equilibrium factor indoor radon measurements. Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol. 236, No. 1-2 (1998) 231-237.
10. **AZORIN**, J. *Et al.* Health Phys., 46, (1984) 269, 1990, 80 págs.

11. **MORALES**, Balderas Omar Yhair. Radiación Gamma, niveles de Radón, sus descendientes y factores de equilibrio en la Zona Metropolitana de Guadalajara Jalisco. Tesis Maestría, Posgrado Ciencias Químicas UNAM. México, 2008, 142 págs.
12. **ROBAYNA**, Duque Berta Elvira. Radón en viviendas de las Islas Canarias Occidentales. Distribución geográfica y Dosimetría. Tesis, Universidad de La Laguna (Dpto. de Medicina Física y Farmacología), 1994, 234 págs.
13. **GARZÓN**, Ruipérez León. Radón y sus riesgos. Universidad de Oviedo, servicios y publicaciones. 1992, 348 págs.
14. **GARZÓN**, Ruipérez León. Radiactividad y medioambiente. Universidad de Oviedo, Servicios y publicaciones.
15. **NERO**, A., Gadgil, A., Nazaroff, W. and Revzan, K. Indoor Radon and Decay Products: Concentrations, Causes, and Control Strategies. 1990 (Washington: U.S. Department of Energy Office of Health Environmental Research).
16. **SOLORZANO**, del Río Héctor. Una Amenaza radiactiva Invisible: El Gas Radón. <http://hector.solorzano.com.mx/articulos/radon.html>
17. **INEGI**, Anuario estadístico del Distrito Federal 1993.
18. **DELEGACIÓN POLÍTICA XOCHIMILCO**. Coordinación de Comunicación Social
19. **E-PERM^R** System Manual, Rad Elec. Inc. E-PERM System, 1991, Maryland, U. S. A.
20. **AMBISALUD**, Hojas informativas Ambisalud HIA-03, Gas Radón. Pág.9. <http://www.ambisalud.es/boletines/HIA-03%20GAS%20RADON.pdf>
21. **PORSTENDÖRFER**, J. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air. Fifth International Symposium on the Natural Radiation Environment Germany: Commission of the European Communities) EUR 14411, 1993, p 69-183.
22. **PIEDECASA**, García Beatriz; *et al.* Radiactividad Natural de los materiales de construcción. Aplicación al hormigón. Parte II. Radiación interna: El gas

Radón. Revista Técnica CEMENTO HORMIGÓN • Nº 946 • Septiembre-
Octubre 2011

23. **ELIZARRARÁS**, Rosendo Víctor Hugo. Determinaciones de Radón a corto y largo Plazo en la Delegación Tlalpan. Tesis, UNAM México, 1997.
24. **YU**, K. N; Young, E. C. M.; Li, K. C. A Study of factors affecting indoor Radon properties. 1996, Volume 71 (2), Health Physics, pags. 179-184.
25. **CAVALLO**, A.; Gadsby, K.; Reddy, T. A. The use of Computed Radon Entry Rates to Understand Radon Concentrations in Buildings, 1994, Volume 66(2), Health Physics, pags. 178-184
26. **WARD**, D. C.; Borak, T. B.; Gadd, M. S. Characterization of ^{222}Rn entry into a basement structure surrounded by low-permeability Soil, 1993, volume 65(1), Health Physics, pags. 1-11
27. **GADD**, Milan S.; Borak, Thomas B. Partitioning of ^{222}Rn Entry into a Structure Surrounded by Soil. 1994, volume 67(1), Health Physics, Pags 53-59
28. **BERENGUER**, Ma. José. Radón en ambientes Interiores. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España: www.insht.es/inshtweb/contenidos/documentacion/fichastecnicas/NTP/ficheros/401a500/ntp_440.pdf
29. **WHITE**, S. B.; Alexander, Barbara V.; Rodman, Nathaniel F. Predicting the Annual Concentration of Indoor ^{222}Rn from one or more Short Term Measurement, 1994 Volume 66(1), Health Physics, pags 55-62
30. **MARTÍNEZ**, T; Navarrete, M; Cabrera, L; González, P.; Ramírez, A. Relationship between Short and Long Term Radon Measurement. 2001, Volume 61, Radiation Physics & Chemistry, pags 687-688.
31. **GIL**, Javier; Padilla, Ma. Teresa. Técnicas para el Estudio entre Variables. Universidad de Sevilla, España, 2007. Link: http://ocwus.us.es/metodos-de-investigacion-y-diagnostico-en-educacion/analisis-de-datos-en-la-investigacion-educativa/Bloque_I
32. **FUENLABRADA**, de la Vega Trucíos, Samuel. Probabilidad y Estadística, 3ª Edición, México, 2008, Mc Graw Hill

GLOSARIO

Andosol (T): es el suelo negro que hay en los volcanes y sus alrededores. La palabra viene de dos palabras japonesas *an* que significa negro, *do* que significa suelo. Se desarrollan sobre cenizas y otros materiales volcánicos ricos en elementos vítreos. Tienen altos valores en contenido de materia orgánica, sobre un 20%, además tienen una gran capacidad de retención de agua y mucha capacidad de cambio. Se encuentran en regiones húmedas, del ártico al trópico y pueden encontrarse junto a una gran variedad de vegetales. Su rasgo más sobresaliente es la formación masiva de complejos amorfos humus-aluminio.

Atómico. *Adj.* Perteneiente o relativo al átomo

Átomo. *m. Fís. y Quím.* Cantidad menor de un elemento químico que tiene existencia propia o mantiene sus propiedades. Se compone de un núcleo atómico, con protones y neutrones, y de electrones orbitales, en número característico para cada elemento químico.

Cambisoles (B). Son suelos que se originan y evolucionan en el mismo lugar, presentan una fertilidad media a baja, son bien drenados, de profundidad media, accesibles en su manejo, sin embargo, al carecer de cubierta vegetal son muy susceptibles a la erosión.

Elemento. *Quím.* Materia constituida por átomos de la misma clase. En su forma más simple posee un número determinado de protones en su núcleo, haciéndolo pertenecer a una categoría única clasificada con el número atómico, aun cuando este pueda desplegar distintas masas atómicas. Es un átomo con características físicas únicas, aquella sustancia que no puede ser descompuesta mediante una reacción química, en otras más simples. No existen dos átomos de un mismo elemento con características distintas y, en el caso de que estos posean masa distinta, pertenecen al mismo elemento pero en lo que se conoce como uno de sus isótopos.

Feldespato: Nombre común de diversas especies minerales, de color blanco, amarillento o rojizo, brillo resinoso o nacarado y gran dureza, que forman parte de rocas ígneas, como el granito. Químicamente son silicatos complejos de aluminio con sodio, potasio o calcio, y cantidades pequeñas de óxidos de magnesio y

hierro. Entre los feldespatos más importantes están la ortosa, la albita y la labradorita.

Feozem (H): Son suelos con igual o mayor fertilidad que los vertisoles, ricos en materia orgánica, textura media, buen drenaje y ventilación, en general son poco profundos, casi siempre pedregosos y muy inestables, restringiendo por ello su uso en la agricultura permanente, pudiéndose utilizar en el cultivo de pastos, aunque se recomienda mantenerlos con vegetación permanente.

Litsoles (I): Constituyen la etapa primaria de formación del suelo, la capa del mismo es menor a 10 cm de espesor, predominando en ella la materia orgánica, con una fertilidad de media a alta. Se presentan en pendientes altas, lo cual impide su explotación económica.

Solonchak: El término solonchak deriva de los vocablos rusos "sol" que significa sal y "chak" que significa área salina, haciendo alusión a su carácter salino. Suelo salino con una elevada acumulación de sales solubles de calcio, sodio, magnesio y potasio

El material original lo constituye, prácticamente, cualquier material no consolidado. Se encuentran en regiones áridas o semiáridas, principalmente en zonas permanentemente o estacionalmente inundadas. La vegetación es herbácea con frecuente predominio de plantas halófilas; en ocasiones aparecen en zonas de regadío con un manejo inadecuado. En áreas costeras pueden aparecer bajo cualquier clima.

El perfil es de tipo AC o ABC y, a menudo, con propiedades gleicas en alguna zona. En áreas deprimidas con un manto freático somero, la acumulación de sales es más fuerte en la superficie del suelo, solonchaks externos. Cuando el manto freático es más profundo, la acumulación salina se produce en zonas subsuperficiales del perfil, solonchaks internos.

Los Solonchaks presentan una capacidad de utilización muy reducida, solo para plantas tolerantes a la sal. Muchas áreas son utilizadas para pastizales extensivos sin ningún tipo de uso agrícola.

Radiación. El fenómeno de la radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o

de un medio material. La radiación propagada en forma de ondas electromagnéticas (rayos UV, rayos gamma, rayos X, etc.) se llama radiación electromagnética, mientras que la radiación corpuscular es la radiación transmitida en forma de partículas subatómicas (partículas α , neutrones, etc.) que se mueven a gran velocidad en un medio o el vacío, con apreciable transporte de energía.

Radioisótopo. *m. Fís.* Isotopo radiactivo de un elemento químico.