



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Evaluación de riesgo ambiental y a la salud humana con un nuevo  
enfoque así como su distribución espacial**

**TESINA PROFESIONAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN INGENIERIA  
SANITARIA**

**MODULO**

**MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS**

**PRESENTA**

**MARIANA PAULINA SALAZAR TORNEZ**

**TUTOR**

**DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ**

# INDICE

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo del tema:.....	2
Objetivos específicos .....	2
Alcances.....	3
CAPITULO 2 ANTECEDENTES .....	4
2.1 ANTECEDENTES DEL SITIO .....	5
2.2 ANTECEDENTES JURÍDICOS CON RESPECTO A LA REMEDIACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS EN MÉXICO .....	6
CAPITULO 3 METODOLOGIA.....	9
3.1 SOFTWARE UTILIZADO.....	10
3.2 ICT (INDICE DE CONTAMINACION TOTAL).....	12
3.3 EVALUACION DE RIESGO AMBIENTAL .....	13
DOSIS DE EXPOSICION.....	14
DOSIS DE EXPOSICION DÉRMICA .....	14
DOSIS DE EXPOSICIÓN POR INGESTIÓN .....	18
DOSIS DE EXPOSICION POR INHALACION.....	21
INDICE DE RIESGO NO CANCERÍGENO .....	37
INDICE DE RIESGO CANCERÍGENO .....	38
DIAGRAMA DE FLUJO .....	39
CAPITULO 4 DESCRIPCIÓN DEL SITIO .....	43
4.1 SUPERFICIE DEL PREDIO .....	44
DIMENSIONES.....	45
4.2 UBICACIÓN DEL PREDIO.....	45
4.3 EXPOSICIÓN .....	47
4.4 DESCRIPCION SOCIOECONOMICA DEL SITIO .....	53
4.5 MODELO CONCEPTUAL .....	54
4.6 ACTIVIDADES DEL SITIO .....	55
CAPITULO 5 CARACTERIZACIÓN.....	57
5.1 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS, GEO-HIDROLÓGICAS .....	58
GEOLOGÍA DEL VALLE DE SAN LUIS POTOSI .....	58
HIDROLOGÍA DEL VALLE DE SAN LUIS POTOSÍ .....	59

5.2 RESULTADOS DEL MUESTREO DEL SUELO Y DEL AGUA SUBTERRÁNEA	62
CAPITULO 6 RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN	65
6.1 ESTIMACIÓN DEL ICT	66
6.2 ESTIMACIÓN DE RIESGOS POR CAPA Y ZONA	68
ZONA NORTE, INDICE DE PELIGRO NO CANCERÍGENO	68
ZONA CENTRO, INDICE DE PELIGRO NO CANCERÍGENO	70
ZONA SUR, INDICE DE PELIGRO NO CANCERÍGENO	72
ZONA NORTE, INDICE DE RIESO CANCERÍGENO (BENCENO)	74
ZONA CENTRO Y SUR, INDICE DE RIESO CANCERÍGENO (BENCENO)	76
6.3 DISTRIBUCIÓN DEL RIESGO NO CANCERIGENO	77
CAPITULO 7 CONCLUSIONES	80
CAPITULO 8 REFERENCIAS CONSULTADAS	83

**CAPITULO 1**  
**INTRODUCCIÓN**

En este trabajo se identificara a través de un nuevo enfoque de evaluación de riesgo ambiental la distribución espacial de los riesgos ambientales y a la salud humana con base en la distribución de la contaminación existente en un sitio de estudio contaminado por hidrocarburos, apoyándose en datos proporcionados por la Dirección de Restauración de Sitios Contaminados de SEMARNAT.

El sitio en estudio será un Ex – Patio de Ferrocarriles en el estado de San Luis Potosí, se obtendrá mediante la metodología propuesta por la US-EPA, las ecuaciones alométricas y la evidencia soportada por el proceso de evaluación de riesgo ambiental, el riesgo como aceptable o no aceptable.

Se comprenderán las relaciones y causalidades entre la presencia de los contaminantes, encontrando las distintas rutas y vías de exposición y los efectos adversos observados en el medio ambiente o los efectos potenciales que pudieran presentarse mediante modelos conceptuales, lo que mostrará los escenarios probables de riesgo.

Así mismo mediante los valores obtenidos en las metodologías soportadas por la evaluación de riesgo se obtendrá la representación de la distribución espacial del riesgo lo más conceptual posible mediante el programa ArcGis y con esto lograr un mejor entendimiento y visualización del panorama de riesgo en cuestión para un área en particular.

Todo lo anterior mediante la recopilación de información del sitio, modelos conceptuales, realizando las hojas de cálculo en Excel y el Programa ArcGis para la distribución espacial del mismo.

### **Objetivo del tema:**

Realizar la evaluación de riesgo ambiental y a la salud humana con un nuevo enfoque así como su distribución espacial con base en la contaminación existente en un sitio de estudio.

### **Objetivos específicos**

Recopilar la información (en la Dirección de Restauración de Sitios Contaminados de SEMARNAT) del Ex patio de Ferrocarriles en San Luis Potosí.

Estimar el Índice de Contaminación Total sistematizando la información en una base de datos y una tabla de Excel con la cual se calcularan los riesgos ambientales y a la salud humana por zona y capa del suelo en el sitio.

Elaborar el Modelo conceptual del sitio para la estimación de las rutas y vías de exposición actual y futura en el sitio, estableciendo los escenarios probables de

uso que servirá de base para la evaluación de riesgos ambientales y a la salud humana.

Analizar los resultados por ruta y vía de exposición así como por escenario de uso.

Representar la información de la distribución de los riesgos en planos a través del sistema ArcGis.

Entender las relaciones y causalidades entre la presencia de los contaminantes, las distintas rutas y vías de exposición y los efectos adversos observados en el medio ambiente o los efectos potenciales que pudieran presentarse.

## **Alcances**

Se determinará el riesgo ambiental y en su caso a la salud para un sitio contaminado por hidrocarburos en este caso los ex patios de ferrocarriles en San Luis Potosí.

Se obtendrá mediante la metodología como aceptable o no aceptable en función de la evidencia soportada por el proceso de evaluación de riesgo ambiental.

Se comprenderán las relaciones y causalidades entre la presencia de los contaminantes, las distintas rutas y vías de exposición y los efectos adversos observados en el medio ambiente o los efectos potenciales que pudieran presentarse.

Así mismo se tendrá la representación de la distribución espacial del riesgo lo más conceptual posible mediante el programa ArcGis y con esto lograr un mejor entendimiento y visualización del panorama para el personal externo ya que no se le da la importancia necesaria a casos de esta índole al no poder darse cuenta de riesgo con solo números y oficios.

## **CAPITULO 2**

### **ANTECEDENTES**

## 2.1 ANTECEDENTES DEL SITIO

El predio en estudio fue adquirido por El Sr. Brown Presidente y el Lic. Don Pablo Macedo, Vicepresidente de Ferrocarril Nacional Mexicano en diferentes transacciones a partir del 14 de marzo de 1902 hasta el 31 de diciembre de 1903 (Tabla 2.1) (COLPOS, 2015 A).

Tabla 2.1 Relación de Escrituras Públicas de la Propiedad correspondientes al predio bajo estudio. (COLPOS, 2015 A).

ADQUICIONES DE FERROCARRIL NACIONAL DE MÉXICO				
FECHA	OTORGANTE	REGISTRO DE COMERCIO	FOJAS	VOLUMEN
14 Marzo 1902	Compañía Ferrocarril de Guanajuato San Luis de la Paz y Pozos	36	211	-
9 Abril 1902	Compañía Camino de Fierro Nacional Mexicano	37	212	-
9 Octubre 1902	Don Felipe Muriedas	41	217	-
18 Abril 1903	Feliciano Rodríguez	45	221	-
31 Diciembre 1903	Compañía Ferrocarril de Hidalgo y de Nordeste	191	221	1

Posteriormente fue comprado por Ferrocarriles Nacionales de México al Ferrocarril Nacional de México el 9 de febrero de 1909 y se protocolizó el acta el 1 de enero de 1958 (Tabla 2.2) (COLPOS, 2015 A).

Tabla 2.2 Datos de la escritura de adquisición del predio bajo estudio por Ferrocarriles Nacionales (COLPOS, 2015 A).

DATOS DE LA ESCRITURA	
Acta	4145
Volumen	5
Foja	1
Fecha	09/02/1909
Otorgante	Ferrocarril Nacional de México
Adquiriente	Ferrocarriles Nacionales

En el año 1995, durante el gobierno del entonces presidente Ernesto Zedillo, se anunció la privatización de FNM en 1995 (aunque ya se había concesionado la primera compañía férrea privada en México en 1994, que fue TFM, la cual concesionó las líneas del noreste y parte del centro). El 29 de noviembre de

1996, se publica en el Diario Oficial de la Federación, el ACUERDO por el cual se destina el Servicio de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes el total de los inmuebles que constituyen la vía general de comunicación ferroviaria del Noreste, así como los inmuebles e instalaciones para la prestación de los servicios auxiliares, con objeto de que esa dependencia otorgue sobre dichos inmuebles las concesiones y permisos respectivos, en los términos de los dispuesto por la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario (COLPOS, 2015 A).

Con fecha del 2 de diciembre de 1996, el Gobierno Federal por conducto de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, otorgó a favor del Concesionario, título de concesión para operar y explotar la vía troncal del Noreste, a fin de prestar el servicio público de transporte ferroviario de carga que en ella opera y los servicios auxiliares. Derivado de lo anterior, el 3 de febrero de 1997, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes publica en el Diario Oficial de la Federación, la CONCESIÓN que otorga el Gobierno Federal, en favor de Ferrocarril del Noreste, S.A de C.V. El 6 de mayo de 1997, Ferrocarril del Noreste S.A. de C.V., cambió su denominación por la de TFM S.A de C.V. (COLPOS, 2015 A).

El día 29 de diciembre de 2006, se publica en el Diario Oficial de la Federación, la MODIFICACIÓN al Título de Concesión otorgado el 2 de diciembre de 1996, y a su modificación del 12 de febrero de 2001, en favor de la empresa Ferrocarril del Noreste, S.A. de C.V., quien posteriormente cambió su denominación a TFM S.A de C.V. "Transportación Ferroviaria Mexicana", la cual es la responsable del mantenimiento de todas las instalaciones que existan dentro del sistema bajo su concesión, actualmente denominada Kansas City Southern de México, S.A de C.V. (COLPOS, 2015 A).

El 4 de junio de 2001, se publica en el Diario Oficial de la Federación el DECRETO por el que se extingue el organismo público descentralizado Ferrocarriles Nacionales de México y se abroga su Ley Orgánica. A partir de esta fecha y hasta la actualidad, FNM no realiza operación alguna en los talleres y zona de abastos de San Luis Potosí. El 10 de octubre de 2012, se publica en el Diario Oficial de la Federación, las BASES para llevar a cabo la liquidación de Ferrocarriles Nacionales de México (COLPOS, 2015 A)

## **2.2 ANTECEDENTES JURÍDICOS CON RESPECTO A LA REMEDIACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS EN MÉXICO**

En 1988 se estableció la regulación de los residuos peligrosos basada en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) más no se previó la de los sitios contaminados por ellos pero se estipularon conceptos y actividades que servirían para prevenir, controlar y reparar el daño por la contaminación ambiental.

Estas contemplaban que a quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique. Así mismo, debe incentivarse a quien proteja el ambiente, promueva o realice acciones de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático y aproveche de manera sustentable los recursos naturales;

- Corresponde al estado y la sociedad prevenir la contaminación del suelo.
- Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos.
- Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetará a lo que disponga la Ley, la Ley de Aguas Nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las normas oficiales mexicanas que para tal efecto expida la Secretaría. (Cortina, 2013)

En 1996 se establecieron por la LGEEPA nuevos criterios para la prevención de la contaminación del Suelo;

- Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes;
- La utilización de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas y considerar sus efectos sobre la salud humana a fin de prevenir los daños que pudieran ocasionar, y
- En los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados en cualquier tipo de actividad prevista por el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable. (Cortina, 2013).

En reconocimiento de que es más costoso remediar que prevenir, llevó a regular la gestión de los sitios contaminados en el marco de la legislación para la prevención de la generación y la gestión integral de los residuos (LGEPEGIR), a fin de introducir medidas para reducir el riesgo de contaminación por residuos a lo largo de las distintas etapas que comprenden su manejo, así como las acciones a realizar cuando se presenta la contaminación de un sitio;

- Obligaciones de responsables de la contaminación de un sitio o propietarios de un sitio contaminado
- Transferencia de sitios contaminados

- Casos de contaminación fortuita o accidental de sitios
- Identificación, inventario, registro y categorización de los sitios contaminados
- Programas de remediación
- Declaratorias de remediación
- Coordinación con la Secretaría de Salud (Cortina, 2013).

Para hacer cumplimiento y lograr los fines establecidos en la LGPEGIR se crea el Reglamento de la LGPEGIR en el cual se encuentran las autorizaciones y procedimientos específicos para llevar a cabo los fines de la legislación mencionada anteriormente;

- Transferencia de sitios contaminados, caso de derrames, infiltraciones, descargas o vertidos accidentales (disposiciones comunes)
- Programas de Remediación
- Responsable Técnico
- Estudios de caracterización
- Estudios de evaluación del riesgo ambiental
- Propuestas de remediación
- Procedimiento de Remediación
- Declaratorias de Remediación (Cortina, 2013).

Para complementar y lograr un mejor cumplimiento dividiendo en temas o residuos específicos se crearon Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de medio ambiente, las cuales son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las Dependencias de la Administración Pública Federal, que establecen reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación, por lo que nos concierne a sitios contaminados son aplicables las siguientes normas, Tabla 2.3:

Tabla 2.3 Normas Oficiales en materia de sitios contaminados en México.

<b>NORMA</b>	<b>TEMA</b>
NOM-052-SEMARNAT-2005	Residuos Peligrosos
NOM-133-SEMARNAT-2000	Bifenilos Policlorados
NOM-138-SEMARNAT/SS-2003	Hidrocarburos
NOM-141-SEMARNAT-2003	Jales Mineros
NOM-147-SEMARNAT/SS-2005	Metales Pesados
NOM-AA-132-SCFI-2006	Muestreo con metales pesados y metaloides
NOM-AA-134-SCFI-2006	Análisis químicos de muestra de suelos contaminados con hidrocarburos fracción pesada
NOM-AA-142-SCFI-2006	Análisis químicos de muestra de suelos contaminados con BTEX
NOM-AA-105-SCFI-2007	Análisis químicos de muestra de suelos contaminados con hidrocarburos fracción ligera

**CAPITULO 3**  
**METODOLOGIA**

### 3.1 SOFTWARE UTILIZADO

Para analizar la información recopilada se utilizaron diferentes tipos de software de acuerdo a los datos que se querían procesar, para iniciar se utilizó ArcGis, en el cual se plasmó la distribución espacial del contaminante y del riesgo, así como la ubicación y pozos de monitoreo en agua y suelo del predio en espacio real.

Primero creó un proyecto en este sistema de información geográfica, en el cual se introdujo mediante puntos geo-referenciados el límite de predio y con eso se procedió a crear una capa vectorial conocida como archivo de tipo shape.

Así mismo se elaboraron tablas en Excel que contenían como encabezado los puntos de muestreo y sus coordenadas UTM y del mismo modo se exportaron a Arcgis creando nuevamente otro archivo shape.

En cuestión al objetivo de estudio, el procesamiento de datos en ArcGis para la distribución espacial de los contaminantes se realizó mediante la introducción de una tabla de datos que contiene como columnas: ID, coordenadas, profundidad e ICT (Índice de Contaminación Total).

Con esto se pudo determinar el área y volumen del sitio contaminado por la creación de polígonos de Thiessen por capa, este método se utiliza debido a que se ha encontrado que es el más exacto al determinar el área de contaminación así como de excavación, además de ser el más práctico ya que está formado por polígonos.

En un enfoque separado se realizó una interpolación llamada Natural Neighbor (vecino natural) que considera la cantidad de la contaminación de cada punto así como los pesos de distancia, este método es utilizado para obtener de igual manera el área de la contaminación o de excavación del sitio contaminado pero también la posible movilidad del contaminante, este método se utiliza debido a que se cuentan con 50 puntos, no hay correlación entre ellos ya que se tomaron en donde no se encontraban estructuras y hay puntos demasiado alejados de otros.

Esta interpolación se ve aumentada por puntos aleatorios adicionales situados en el perímetro de un buffer, que representa una cierta distancia a los límites exteriores del sitio. Estos puntos, dotados de un valor de contaminación cero, permiten estimar el alcance de la contaminación fuera del sitio.

La distancia del buffer se define por una estimación de la distancia máxima de la posible dispersión de contaminantes en esta zona, en general está entre cincuenta y cien metros de los límites exteriores.

Al tener todos los mapas por profundidad por polígonos de Thiessen se utiliza la herramienta de unión de ArcGis, para todas las capas y después de esta una intersección y se le ordena que indique la profundidad máxima de contaminación lo que nos dará como resultado el mapa de la profundidad máxima de áreas contaminadas.

De este mapa final se estima el área y volumen total, así como el área a excavar para efectos de una remediación del sitio.

Esto mismo se realiza para el método de interpolación de Natural Neighbor obteniendo también la movilidad del contaminante a la máxima profundidad, al calcular el área por los métodos se nota una diferencia del 20% la cual es debido a que para calcular el área con Polígonos de Thiessen se toman líneas rectas y para la interpolación líneas curvas, lo que la hace más grande.

Cabe mencionar que para estimar el área del sitio contaminado, se toma la calculada por polígonos de Thiessen ya que como se mencionó se toman líneas rectas para calcularlas y de la misma forma se presentan en el mapa, por lo que es más práctico a la hora de presentarlos a las empresas responsables de remediar o del sitio a que se manejen polígonos a líneas curvas.

Este método se utiliza también para la distribución de riesgos a la salud, pero en lugar de utilizar los valores de contaminación, se utiliza el índice de riesgos cancerígenos y no cancerígenos obtenidos a partir de los resultados de la evaluación de riesgos a la salud implementada.

Para el análisis de la población que colinda con el sitio en estudio se utilizó QGIS, con el cual se crearon mapas basados en AGEBS (Áreas Geoestadísticas Urbanas) de INEGI, los cuales contenían las tablas de atributos con las manzanas, y el número de habitantes de las mismas separadas por edades representativas. Se realizó un corte de la capa principal tomando de referencia un buffer de 500m.

Al obtener el corte de esta capa los datos se redujeron únicamente a los pertenecientes a las manzanas más afectadas y de los cuales se lograron crear los mapas de análisis.

Otro software utilizado fue ProUCL versión 5.0, es un software con métodos estadísticos y herramientas gráficas para abordar muchos datos de muestreo ambiental el cual realiza varios análisis estadísticos al mismo tiempo (normal, lognormal o no paramétrica) y de los cuales se obtienen las muestras más representativas de una serie de datos de concentraciones para este caso, así como los momentos muestrales como la media, mediana, varianza y desviación estándar.

### 3.2 ICT (INDICE DE CONTAMINACION TOTAL)

Se aplicó una nueva metodología la cual consiste de inicio en la recopilación de todas las concentraciones de datos y separarlas por profundidad. Con esto, se obtiene el CC (coeficiente de contaminación) ecuación 3.1, que es la relación de la concentración entre los límites máximos permisibles para cada fracción de hidrocarburo (HFL, HFM, HFP, B, T, E, X). Las variables de cálculo se presentan en la Tabla 3.1.

$$CC_i = \frac{C_i}{LMP_i} \quad ; i - \text{Contaminante}$$

Ecuación 3.1

Tabla 3.1 Variables para el cálculo del coeficiente de contaminación.

C <sub>i</sub>	Concentración (mg/kg)
LMP	Límite Máximo Permissible (mg/kg)

Después se procedió a calcular el ICT (índice total de la contaminación) con la ecuación 3.2, el ICT es la suma de todos los valores de CC por punto de muestreo, esto dice en cuántas unidades las concentraciones superan el límite máximo permitido, las variables para el cálculo de ICT se encuentran en la tabla 3.2

$$ICT = \sum_{i=1}^N CC_i \begin{cases} \sum_{i=1}^N CC_i \geq 1, \text{ para cualquier contaminante} \\ \sum_{i=1}^N CC_i \leq 1, \text{ para cualquier contaminante ; ICT=0} \end{cases}$$

Ecuación 3.2

Tabla 3.2 Variables para calcular el ICT

CC <sub>i</sub>	Coeficiente de Contaminación
ICT	Indice de Contaminación Total

Al incluir a los componentes de hidrocarburos de mayor riesgo a la salud en este índice se puede usar como una base de datos de entrada para ArcGis, y con éste obtener la distribución de los contaminantes en un mapa.

### 3.3 EVALUACION DE RIESGO AMBIENTAL

Para este estudio se determinó que el sitio se dividiría en 3 áreas (Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur) ya que al considerar solo área total del predio al calcular el riesgo se sobreestimaría el mismo en algunas zonas, debido a que por las mismas actividades del sitio se presentan diferentes tipo de contaminación para cada área.

La zona centro está contaminada con producto en fase libre e hidrocarburos, en la zona norte únicamente está contaminada con hidrocarburos y además se encuentran las vías y parte de los talleres razón por la que se encuentra producto en esta fase y en la zona sur se encuentran hidrocarburos así como metales pesados además de que la contaminación es superficial, por lo tanto se elevaría el riesgo total en el sitio al tomar en cuenta una única área de estudio, además que en la zona sur se tiene que hacer una consideración extra a las demás zonas ya que existe terracería en esta y por lo tanto se tiene que considerar el factor de emisión de partículas (FEP) ya que se puede llegar a necesitar excavación en el caso de hacer la remediación o que en ese se efectúe algún movimiento de tierras.

Esta metodología es propuesta para tener un resultado más apegado a la realidad, ya que si se tomara como un caso tradicional se estaría considerando que la contaminación que se presenta en el predio es uniforme conforme a su extensión y se presentan todos los casos de contaminación ya mencionados.

Cabe mencionar que para este estudio se calculó el riesgo total únicamente para los hidrocarburos presentes en el sitio dejando pendiente el de los metales pesados por cuestión de tiempo para la entrega de este trabajo, los cuales se anexaran al cálculo de la zona sur para completar el estudio por parte del área correspondiente.

Por lo que se procedió a separar los puntos de muestreo mediante una selección visual en ArcGis con la capa de los puntos de muestreo ya dividida en 3, se procedió a separar estos puntos de muestreo de la base de datos general para así crear 3 bases de datos con las concentraciones llamadas Norte, Sur y Centro.

Para poder realizar la evaluación se necesita una concentración representativa de cada contaminante ya que la toma de muestras para obtener las concentraciones se hacen en diferentes puntos, por lo que se llega a tener 30 resultados de un mismo contaminante, por eso mismo se realizó un análisis probabilístico con la ayuda del programa PROUCL, con el cual se obtuvo el UCL de la muestra de datos introducidas por profundidad y zona para cada contaminante, cabe mencionar que para este trabajo se obtendrá el riesgo a la salud humana solo tomando en cuenta la contaminación por hidrocarburos

En cuestión del ambiente mediante la investigación y observación del sitio se notó que este tipo de contaminación no afecta directamente al ambiente debido a que es una zona urbana al 100% ya que esta al centro de la ciudad de San Luis Potosí y no cuenta con ecosistemas cercanos a los que pudiera llegar a afectar por lo que no es necesario calcular el riesgo ambiental para este caso como lo marca la ley por lo que únicamente se calculará el riesgo a la salud humana.

## DOSIS DE EXPOSICION

Para el cálculo de la dosis de exposición se utilizó el método planteado por EPA, ajustado por el método de las guías SEMARNAT y de acuerdo al análisis de la población para determinar la exposición se notó que es necesario hacer el estudio para el escenario más desfavorable con el grupo poblacional siguiente:

Niños de 1-6 años

Niños de 6-12 años

Adultos Residentes

Adultos Trabajadores

$$DE_{DER} = \frac{C_s * TSA * FC * FBD_{DER} * FCE}{PC}$$

Adultos Trabajadores de la  
Remediación (Solo en zona sur)

## DOSIS DE EXPOSICION DÉRMICA

Para esta parte se utilizaron las ecuaciones 3.3, 3.4 y 3.5; Y la tabla 3.3 contiene las variables correspondientes a la dosis de exposición dérmica.

Ecuación 3.3

$$TSA = SPD_{DER} * PPE * FAP * EMS$$

Ecuación 3.4

$$FCE = \frac{FrE * DuE * TE}{PTE_M}$$

Ecuación 3.5

Tabla 3.3 Variables correspondientes a la dosis de exposición dérmica.

$C_s$	Concentración de contaminante en suelos, obtenido de PROUCL [mg/Kg]
$SPD_{DER}$	Superficie de la piel disponible para contacto [cm <sup>2</sup> /evento]
PPE	Porcentaje de área de la piel expuesta [%]
FAP	Factor de adherencia a la piel [mg/cm <sup>2</sup> ]
EMS	Efecto de influencia del tipo de matriz del suelo [%]

TSA	Total de suelo adherido [mg]
FC	Factor volumétrico de conversión $1 \text{ L}/1000\text{cm}^3 = 1 \times 10^{-6}$
FBD <sub>DER</sub>	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción en piel del contaminante o Tasa de absorción del contaminante [%]
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]
DuE	Duración de la exposición [años]
PC	Peso corporal [Kg]
PTE <sub>M</sub>	Promedio del tiempo de exposición [d]
FCE	Factor de corrección de la exposición [ - ]
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]

Cabe mencionar que los valores son tomados por grupo poblacional por lo que se hace un cálculo de la dosis de exposición para cada caso.

Los niños de 1-6 años no se tomaron en cuenta para ninguna de las zonas ya que es improbable que este grupo tenga una exposición dérmica como tal.

Para niños de 6-12 años a una profundidad de 14m para la zona norte, centro y sur, se tomaron los valores de la Tabla 3.4

Tabla 3.4 Datos tomados para el cálculo de la dosis de exposición dérmica para niños de 6-12 años.

Datos aplicados HFL		REFERENCIA	RESULTADO
C <sub>s</sub>	Concentración de contaminante en suelos [mg/Kg]	PERCENTIL 95, Obtenido de Proucl, por profundidad para cada contaminante	3
SPD <sub>DER</sub>	Superficie de la piel disponible para contacto [cm <sup>2</sup> /evento]	Tabla 3, Anexo (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002).	1396
PPE	Porcentaje de área de la piel expuesta [%]	Tabla 2, Anexo (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002).	30
FAP	Factor de adherencia a la piel [mg/cm <sup>2</sup> ]	Tabla 2, Anexo (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002).	0.75
EMS	Efecto de influencia del tipo de matriz del suelo [%]	Experiencia Profesional	1
TSA	Total de suelo adherido [mg]	Fórmula.	2100
FC	Factor volumétrico de conversión $1 \text{ L}/1000\text{cm}^3 = 1 \times 10^{-6}$	(USEPA, 2002)	0.000001
FBD <sub>DER</sub>	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción en piel del contaminante o Tasa de absorción del contaminante [%]	Tabla12, Anexo (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.1
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]	Tabla12, Anexo (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	330

DuE	Duración de la exposición [años]	Tabla12, Anexo (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	6
PC	Peso corporal [Kg]	Tabla 3, Anexo (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	16
PTE <sub>M</sub>	Promedio del tiempo de exposición [d]	Tabla 12, Anexo (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	2190
FCE	Factor de corrección de la exposición [ - ]	Fórmula.	275
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]	ANEXO 2, (Ruíz, 2006).	365

Para adultos residentes a una profundidad de 14m para las mismas tres zonas, se tomaron los valores de la tabla 3.5

Tabla 3.5 Datos tomados para el cálculo de la dosis de exposición dérmica para niños de 6-12 años.

Datos aplicados HFL		REFERENCIA	Resultado
C <sub>s</sub>	Concentración de contaminante en suelos [mg/Kg]	PERCENTIL 95, Obtenido de Proucl, por profundidad para cada contaminante	3
SPD <sub>DER</sub>	Superficie de la piel disponible para contacto [cm <sup>2</sup> /evento]	Tabla 3, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002).	1815
PPE	Porcentaje de área de la piel expuesta [%]	Tabla 2, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002).	0.24
FAP	Factor de adherencia a la piel [mg/cm <sup>2</sup> ]	Tabla 2, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002).	0.75
EMS	Efecto de influencia del tipo de matriz del suelo [%]	Experiencia Profesional	1
TSA	Total de suelo adherido [mg]	Fórmula.	326.7
FC	Factor volumétrico de conversión 1 L/1000cm <sup>3</sup> =1 x10 <sup>-6</sup>	(USEPA, 2002)	0.000001
FBD <sub>DER</sub>	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción en piel del contaminante o Tasa de absorción del contaminante [%]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.1
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	104
DuE	Duración de la exposición [años]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	15
PC	Peso corporal [Kg]	Tabla 3, Anexo H, (Ruíz, 2006),	70

		(USEPA, 2002)	
PTE <sub>M</sub>	Promedio del tiempo de exposición [d]	Tabla 12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	365*15=5475
FCE	Factor de corrección de la exposición [ - ]	Fórmula.	104
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]	ANEXO 2, (Ruíz, 2006).	365

Así mismo, para adultos trabajadores a una profundidad de 14m, se tomaron los valores de la Tabla 3.6

Tabla 3.6 Datos tomados para el cálculo de la dosis de exposición dérmica para adultos trabajadores

Datos aplicados HFL		REFERENCIA	Resultado
C <sub>s</sub>	Concentración de contaminante en suelos [mg/Kg]	PERCENTIL 95, Obtenido de Proucl, por profundidad para cada contaminante	3
SPD <sub>DER</sub>	Superficie de la piel disponible para contacto [cm <sup>2</sup> /evento]	Tabla 3, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002).	1815
PPE	Porcentaje de área de la piel expuesta [%]	Tabla 2, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002).	0.24
FAP	Factor de adherencia a la piel [mg/cm <sup>2</sup> ]	Tabla 2, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002).	0.75
EMS	Efecto de influencia del tipo de matriz del suelo [%]	Experiencia Profesional	1
TSA	Total de suelo adherido [mg]	Fórmula.	326.7
FC	Factor volumétrico de conversión 1 L/1000cm <sup>3</sup> =1 x10 <sup>-6</sup>	(USEPA, 2002)	0.000001
FBD <sub>DER</sub>	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción en piel del contaminante o Tasa de absorción del contaminante [%]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.1
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	50
DuE	Duración de la exposición [años]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	30
PC	Peso corporal [Kg]	Tabla 3, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	70
PTE <sub>M</sub>	Promedio del tiempo de exposición [d]	Tabla 12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	365*30=10950
FCE	Factor de corrección de la exposición [ - ]	Fórmula.	50

TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]	ANEXO 2, (Ruíz, 2006).	365
----	--	------------------------	-----

## DOSIS DE EXPOSICIÓN POR INGESTIÓN

Para esta se utilizaron las ecuaciones 3.6 y 3.7; Y las variables correspondientes a la dosis de exposición por ingestión se pueden apreciar en la Tabla 3.7

$$DE_{ING} = \frac{C_S * TI_{ING} * FBD_{ING} * FC * FCE}{PC} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

$$FCE = \frac{FrE * DuE * TE}{PTE_M} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Tabla 3.7 Variables correspondientes a la dosis de exposición por ingestión.

C <sub>S</sub>	Concentración de contaminante en suelos [mg/Kg]
T <sub>I<sub>ING</sub></sub>	Tasa de Ingestión [mg/d] La Ingesta de agua varía mucho según temperatura del sitio, sus condiciones geográficas y el comportamiento de la población. No se recomienda aplicar valores de climas más fríos.
FBD <sub>ING</sub>	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción gastrointestinal o Tasa de absorción del contaminante [%]
FC	Factor volumétrico de conversión =1 x10 <sup>-6</sup>
PC	Peso corporal [Kg]
FCE	Factor de corrección de la exposición [ - ]
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]
DuE	Duración de la exposición [años]
PTE <sub>M</sub>	Promedio del tiempo de exposición [d]
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]

Cabe mencionar que los valores son tomados por grupo poblacional específico por lo que se hace un cálculo de la dosis de exposición para cada caso.

Los niños de 1-6 años no se tomaron en cuenta para ninguna de las zonas ya que es improbable que este grupo tenga una exposición por ingestión como tal.

Para niños de 6-12 años a una profundidad de 14m para la zona norte, centro y sur, se tomaron los valores de la Tabla 3.8

Tabla 3.8 Datos tomados para el cálculo de la dosis de exposición por ingestión para HFL en niños de 6-12 años.

Datos aplicados HFL		REFERENCIA	Resultado
C <sub>S</sub>	Concentración de contaminante en suelos [mg/Kg]	PERCENTIL 95%, Obtenido de Proucl, por profundidad para cada contaminante	3
T <sub>IING</sub>	Tasa de Ingestión [mg/d]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	100
	La Ingesta de agua varía mucho según temperatura del sitio, sus condiciones geográficas y el comportamiento de la población. No se recomienda aplicar valores de climas más fríos.		
FBD <sub>ING</sub>	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción gastrointestinal o Tasa de absorción del contaminante [%]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	1
FC	Factor volumétrico de conversión =1 x10 <sup>-6</sup>	ANEXO 2, (Ruíz, 2006)	0.000001
PC	Peso corporal [Kg]	Tabla 1, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	29
FCE	Factor de corrección de la exposición [ - ]	FÓRMULA	260
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	260
DuE	Duración de la exposición [años]	Tabla1, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	6
PTE <sub>M</sub>	Promedio del tiempo de exposición [d]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	2190
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]	ANEXO 2, (Ruíz, 2006) (USEPA, 2002)	365

Para adultos residentes a una profundidad de 14m, para las mismas tres zonas, los datos utilizados se presentan en la tabla 3.9

Tabla 3.9 Datos tomados para el cálculo de la dosis de exposición por ingestión para HFL en adultos residentes.

Datos aplicados HFL		REFERENCIA	Resultado
C <sub>S</sub>	Concentración de contaminante en suelos [mg/Kg]	UCL Obtenido de Proucl, por profundidad para cada contaminante	3

$TI_{ING}$	Tasa de Ingestión [mg/d]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	100
	La Ingesta de agua varía mucho según temperatura del sitio, sus condiciones geográficas y el comportamiento de la población. No se recomienda aplicar valores de climas más fríos.		
$FBD_{ING}$	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción gastrointestinal o Tasa de absorción del contaminante [%]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	1
FC	Factor volumétrico de conversión = $1 \times 10^{-6}$	ANEXO 2, (Ruíz, 2006) (USEPA, 2002).	0.000001
PC	Peso corporal [Kg]	Tabla 1, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	70
FCE	Factor de corrección de la exposición [-]	FÓRMULA	104
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	104
DuE	Duración de la exposición [años]	Tabla1, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	15
$PTE_M$	Promedio del tiempo de exposición [d]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	$365 \times 15 = 5475$
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]	ANEXO 2, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	365

Así mismo, para adultos trabajadores a una profundidad de 14m, los datos considerados se presentan en la tabla 3.10

Tabla 3.10 Datos tomados para el cálculo de la dosis de exposición por ingestión para HFL en adultos trabajadores.

<b>Datos aplicados HFL</b>		REFERENCIA	Resultado
$C_S$	Concentración de contaminante en suelos [mg/Kg]	PERCENTIL 95%, Obtenido de Proucl, por profundidad para cada contaminante	3
$TI_{ING}$	Tasa de Ingestión [mg/d]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	100
$FBD_{ING}$	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción gastrointestinal o Tasa de absorción del contaminante [%]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	1
FC	Factor volumétrico de conversión = $1 \times 10^{-6}$	ANEXO 2, (Ruíz, 2006) (USEPA, 2002).	0.000001

PC	Peso corporal [Kg]	Tabla 1, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	70
FCE	Factor de corrección de la exposición [-]	FÓRMULA	50
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	50
DuE	Duración de la exposición [años]	Tabla1, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	30
PTE <sub>M</sub>	Promedio del tiempo de exposición [d]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	365*30= 10950
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]	ANEXO 2, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	365

## DOSIS DE EXPOSICION POR INHALACION

Para esta se utilizaron las ecuaciones 3.8 y 3.7; Y las variables correspondientes a la dosis de exposición por inhalación, son presentadas en la Tabla 3.11

$$DE_{INH} = \frac{C_A * TI_{INH} * FBD_{INH} * FCE}{PC} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

$$FCE = \frac{TRA_{INH} * FrE * DuE * TE}{PTE_M} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Tabla 3.11 Variables correspondientes a la dosis de exposición por inhalación

C <sub>A</sub>	Concentración de contaminante en aire [mg/L]
TI <sub>INH</sub>	Tasa de Inhalación [m <sup>3</sup> /h]
TRA <sub>INH</sub>	Tasa de retención del aire inhalado [%]
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]
DuE	Duración de la exposición [años]
PTE <sub>M</sub>	Promedio del tiempo de exposición [d]
FCE	Factor corrección de la exposición [-]
PC	Peso corporal [Kg]
FBD <sub>INH</sub>	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción del contaminante [%]

Cabe mencionar que los valores son tomados por grupo poblacional específico por lo que se hace un cálculo de la dosis de exposición para cada caso.

Para el cálculo de la concentración en aire para HFL en niños de 6-12 años, adultos residentes y adultos trabajadores en la zona norte y sur se calculó de la siguiente manera:

Para la zona no saturada: de acuerdo a la EPA se utiliza la ecuación 3.10; Y las variables correspondientes para el cálculo de la concentración en aire se encuentran en la tabla 3.12

$$C_a = C_s * (FV)^{-1}$$

Ecuación 3.10

Tabla 3.12 Variables correspondientes para el cálculo de la concentración en aire

$C_{A= C_{source}}$	Concentración de contaminante en aire [mg/l]
FV	Factor de volatilización
$C_s$	Concentración de contaminante en [mg/Kg]

Cálculo del factor de volatilización en la zona no saturada (ecuación 3.11); Y los datos tomados para el cálculo de la concentración en aire están en la Tabla 3.13

$$FV = \frac{K_d}{H}$$

Ecuación 3.11

Tabla 3.13 Datos tomados para el cálculo de la concentración en aire

<b>Datos aplicados HFL</b>		REFERENCIA	Resultado
H	Constante de la Ley de Henry [PA m <sup>3</sup> /moles]	(Group, 2006)	0.0059
$K_D$	Coefficiente de partición suelo - agua [cm <sup>3</sup> /g]	FÓRMULA	0.060225

El coeficiente de partición de suelo – agua, se obtienen mediante la ecuación 3.12.

$$K_d = f_{oc} * K_{oc}$$

Ecuación 3.12

Las variables necesarias para el cálculo del coeficiente, se presentan en la Tabla 3.14

Tabla 3.14 Datos tomados para el cálculo del coeficiente de partición en suelo

<b>Datos aplicados HFL</b>		REFERENCIA	Resultado
$K_{oc}$	Coefficiente de partición de carbón orgánico en suelo – agua [cm <sup>3</sup> /g]	(Group, 2006)	120.45
$f_{oc}$	Fracción de carbón orgánico en suelo [g/g]	(Weiner, 2013)	0.0005

Para el estrato que corresponde a 14 m para las zonas norte y centro, se utilizaron las variables presentadas en la Tabla 3.15

Tabla 3.15 Datos tomados para el cálculo de la concentración en aire

Datos aplicados HFL		REFERENCIA	Resultado
$C_{A=C_{source}}$	Concentración de contaminante en aire [mg/l]	UCL Obtenido de Proucl, por profundidad para cada contaminante	0.29389788
FV	Factor de volatilización	FÓRMULA DE ANEXO 2, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	10.2076271
$C_s$	Concentración de contaminante en [mg/Kg]	FÓRMULA DE (USEPA, 2002)	3

Para el cálculo de la concentración en aire en la zona saturada para HFL en niños de 6-12 años, adultos residentes y adultos trabajadores en la zona norte centro y sur se calculó mediante la ecuación 3.13; Y las variables presentadas en la Tabla 3.16, cabe mencionar que la zona saturada comienza desde la profundidad de 4.8m para las tres zonas, así como también les corresponden el tipo de suelo de limos arenosos arcillosos.

$$C_{source} = \frac{H'_{TS} C_R \rho_b}{\theta_w + K_d \rho_b + H'_{TS} \theta_a} \quad \text{Ecuación 3.13}$$

Tabla 3.16 Variables correspondientes al cálculo de la concentración en aire para la zona saturada.

$C_{A=C_{source}}$	Concentración de contaminante en aire [mg/l]
HT's	Constante de Henry adimensional
$C_{S=C_r}$	Concentración de contaminante en suelos [mg/Kg]
$\rho_b$	Densidad aparente del suelo [ $g/cm^3$ ]
$\theta_a$	Porosidad del suelo no saturado [ $cm^3/cm^3$ ]
$\theta_w$	Porosidad del suelo saturado [ $cm^3/cm^3$ ]
$K_{OC}$	Coefficiente de partición de carbón orgánico en suelo – agua [ $cm^3/g$ ]
$f_{OC}$	Fracción de carbón orgánico en suelo [g/g]
$K_D$	Coefficiente de partición suelo - agua [ $cm^3/g$ ]
% h	Porcentaje de humedad por tipo de suelo

Se tomó como tipo de suelo a limos arcillosos arenosos que corresponden a la estratigrafía a los 4.8 m para calcular la porosidad total del suelo (n) para la

zona norte centro y sur se utilizó la ecuación 3.14, y las variables de la misma se presentan en la Tabla 3.17

$$n = 1 - \rho_b / \rho_s$$

Ecuación 3.14

Tabla 3.17 Datos tomados para el cálculo de la porosidad total en limos arcillosos arenosos.

Datos aplicados Limos arenosos arcillosos		REFERENCIA	Resultado
n	Porosidad total [-]	(E.H. Pechan & Associates, 1997)	0.50
$\rho_b$	Densidad aparente [gr/cm <sup>3</sup> ]	(Cisneros, 2015)	1.32
$\rho_s$	Densidad real [gr/cm <sup>3</sup> ]	(E.H. Pechan & Associates, 1997)	2.65

Se calcula la porosidad del suelo saturado con la ecuación 3.15, y sus variables se presentan en la Tabla 3.18

$$\theta_w = \%h(n)$$

Ecuación 3.15

Tabla 3.18 Datos tomados para el cálculo de la porosidad del suelo saturado.

Datos aplicados Limos arenosos arcillosos		REFERENCIA	Resultado
$\theta_w$	Porosidad del suelo saturado [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	(E.H. Pechan & Associates, 1997)	0.16
% h	Porcentaje de humedad por tipo de suelo	(Atmospheric, 2010)	0.325
n	Porosidad total	FORMULA	0.50

Se calcula la porosidad del suelo no saturado con la ecuación 3.16, y las variables de la misma se presentan en la Tabla 3.19

$$\theta_a = n - \theta_w$$

Ecuación 3.16

Tabla 3.19 Datos tomados para el cálculo de la porosidad del suelo no saturado

<b>Datos aplicados Limos arenosos arcillosos</b>		REFERENCIA	Resultado
$\theta_w$	Porosidad del suelo saturado [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	(E.H. Pechan & Associates, 1997)	0.16
$\theta_a$	Porosidad del suelo no saturado [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	(E.H. Pechan & Associates, 1997)	0.33
n	Porosidad total	FORMULA	0.50

Es importante mencionar que el cálculo de la concentración en aire es acumulativo por cada estrato antecediéndolo el estrato anterior, es decir sumando la concentración en aire iniciando desde los 14m hasta 0.05m, tomando en cuenta ya los acumulados desde 14m hasta 4.8m en la zona norte y utilizando el valor de las variables presentados en la Tabla 3.20

Tabla 3.20. Datos tomados para el cálculo de la concentración en aire para HFL a 4.8m de profundidad correspondiente a limos arenosos arcillosos

<b>Datos aplicados Limos arenosos arcillosos</b>		Resultado
$K_{OC}$	Coefficiente de partición de carbón orgánico en suelo – agua [cm <sup>3</sup> /g]	120.45
$f_{OC}$	Fracción de carbón orgánico en suelo [g/g]	0.005
$K_D$	Coefficiente de partición suelo - agua [cm <sup>3</sup> /g]	0.60

Por lo que para la profundidad que se está calculando daría el resultado siguiente:

$$C_a = 557.2758302 \frac{mg}{Kg}$$

Tomando en cuenta la concentración en aire se calcula la dosis de exposición por inhalación como se indica en la ecuación 3.8, para los 14m de profundidad, se tiene:

Para niños de 6-12 años en las tres zonas se utilizaron los datos resumidos en la Tabla 3.21

Tabla 3.21 Datos tomados para el cálculo de la dosis de exposición por inhalación para HFL en niños de 6-12 años.

Datos aplicados HFL		REFERENCIA	Resultado
$C_A$	Concentración de contaminante en aire [mg/L]	Cálculo de la fórmula para zona no saturada	0.296986301
$TI_{INH}$	Tasa de Inhalación [ $m^3/h$ ]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.25
$TRA_{INH}$	Tasa de retención del aire inhalado [%]		0.1
$TE$	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	330
$FrE$	Frecuencia de exposición [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	365
$DuE$	Duración de la exposición [años]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	6
$PTE_M$	Promedio del tiempo de exposición [d]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	2190
$FCE$	Factor corrección de la exposición [ - ]	Tabla12, Anexo H, (USEPA, 2002), (USEPA, 2002)	33
$PC$	Peso corporal [Kg]	Tabla1, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	16
$FBD_{INH}$	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción del contaminante [%]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.1

De igual manera, para adultos residentes, se tomaron los valores presentados en la Tabla 3.22

Tabla 3.22 Datos tomados para el cálculo de la dosis de exposición por inhalación para HFL en adultos residentes.

Datos aplicados HFL		REFERENCIA	Resultado
$C_A$	Concentración de contaminante en aire [mg/L]	Cálculo de la fórmula para zona no saturada	0.296986301
$TI_{INH}$	Tasa de Inhalación [ $m^3/h$ ]	Tabla 7, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.62
$TRA_{INH}$	Tasa de retención del aire inhalado [%]		0.1
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	365
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	365
DuE	Duración de la exposición [años]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	15
$PTE_M$	Promedio del tiempo de exposición [d]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	$365*15= 5475$
FCE	Factor corrección de la exposición [ - ]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	36.5
PC	Peso corporal [Kg]	Tabla1, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	70
$FBD_{INH}$	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción del contaminante [%]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	1

Para los adultos trabajadores en las tres zonas se utilizaron los valores de la Tabla 3.23

Tabla 3.23 Datos tomados para el cálculo de la dosis de exposición por inhalación para HFL en adultos trabajadores.

Datos aplicados HFL		REFERENCIA	Resultado
$C_A$	Concentración de contaminante en aire [mg/L]	Cálculo de la fórmula para zona no saturada	0.296986301
$TI_{INH}$	Tasa de Inhalación [ $m^3/h$ ]	Tabla 7, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.83
$TRA_{INH}$	Tasa de retención del aire inhalado [%]		0.1
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	365
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	365
DuE	Duración de la exposición [años]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	30
$PTE_M$	Promedio del tiempo de exposición [d]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	10950
FCE	Factor corrección de la exposición [ - ]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	36.5
PC	Peso corporal [Kg]	Tabla1, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	70
$FBD_{INH}$	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción del contaminante [%]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.1

Por otro lado se tuvo que tomar otra consideración en la zona sur para los trabajadores de la remediación ya que hay terracería y por lo tanto se tiene que considerar el factor de emisión de partículas (FEP) ya que se puede llegar a necesitar excavación en el caso de hacer la remediación o que en ese se efectúe algún movimiento de tierras.

El factor de emisión de partículas se calculó de la manera propuesta por la EPA, como se presenta en la ecuación 3.17

$$PEF = Q/C_{wind} \times \frac{1}{J_w} \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Donde:

$$\frac{Q}{C} = A \times \exp \left[ \frac{(\ln A_{sitio} - B)^2}{C} \right] \quad \text{Ecuación 3.18}$$

La ecuación 3.18 es utilizada para el cálculo del factor de dispersión para los polvos fugitivos emitidos desde los suelos; utilizado para derivar los límites de referencia comerciales / industriales para el receptor de los trabajadores al aire libre y las variables para su cálculo son explicadas en la Tabla 3.24

Tabla 3.24 Datos tomados para el cálculo de Q/C

Datos aplicados	Unidades	Referencias	Resultado
A*		(USEPA2, 2002)	14.942
B*		(USEPA2, 2002)	17.987
C*		(USEPA2, 2002)	205.178
Asitio	acres	Area de contaminación en el sitio	10.453
	m2	Area de contaminación en el sitio	104525.2
Q/C	Factor de dispersión para los polvos fugitivos emitidos desde los suelos; utilizado para derivar SSLs comerciales / industriales para el trabajador como receptor.[g/m2-s per kg/m3]	(USEPA2, 2002)	49.22

\* A, B Y C: Constantes basadas en modelos de dispersión de aire para las zonas climáticas específicas.

Teniendo ya el factor de dispersión para los polvos fugitivos emitidos desde los suelos (ecuación 3.18), se procede a calcular el flujo de emisión de unidad de tiempo promedio total para el receptor fuera del sitio con la ecuación 3.19

$$\langle J_T^{off} \rangle = \frac{(M_{road} \cdot M_{wind} \cdot M_{excav} \cdot M_{doz} \cdot M_{grade} \cdot M_{till} \cdot M_{wind}^{pc})}{A_{site} \times ED \times 3.1536E \cdot 07 \text{ s/yr}} \quad \text{Ecuación 3.19}$$

Las variables necesarias para la obtención del mismo, se obtienen mediante las ecuaciones 3.20 a 3.28; Y sus variables correspondientes se resumen en las Tablas 3.25 a 3.30

$$M_{road} = \frac{2.6 \times (s/12)^{0.8} (W/3)^{0.4}}{(M_{dry}/0.2)^{0.3}} \times [(365 \cdot p)/365] \times 281.9 \times \Sigma VKT \quad \text{Ecuación 3.20}$$

$$\Sigma VKT = 30 \text{ vehicles} \times 0.045 \text{ km/day} \times (52 \text{ wks/yr} \div 2) \times 5 \text{ days/wk} = 175.5 \text{ km.} \quad \text{Ecuación 3.21}$$

Tabla 3.25 Datos tomados para el cálculo de Mroad

Datos aplicados		Referencias	Resultado
s	Contenido DE Silice en superficie del camino	(USEPA2, 2002)	0.085
W	Peso del vehículo [ton]	Camión de 7m <sup>3</sup> , Kenworth	15
Mdry	Contenido de humedad del material de superficie bajo condiciones no controladas	(USEPA2, 2002)	0.002
p	Números de días al año con al menos .01 pulgadas de precipitación en SNLP	(BANDAS, 2012)	90

Número de vehículos a utilizar	No. De camiones	Experiencia	4
Recorrido	km/día	Medido en Google Earth	0.440
Semanas por año a trabajar	semanas/a	Experiencia-	12
Días por semana de trabajo	días/semana	Experiencia-	6
SUM VKT	Km	FORMULA	63.360
Mroad	La unidad de masa emitida en las carreteras sin pavimentar [g]	(USEPA2, 2002)	524854.9996
	kg		524.9

$$M_{wind} = 0.036 \times (1 \cdot V) \times \left( \frac{U_m}{U_t} \right)^3 \times F(x) \times A_{surf} \times ED \times 8,760 \text{ hr/yr}$$

Ecuación 3.22

Donde:

$$x = 0.886 \left( \frac{u_t}{u_m} \right)$$

Ecuación 3.23

$$F(x) = 0.18 (8 x^3 + 12 x) \exp(-x^2)$$

Ecuación 3.24

Tabla 3.26 Datos tomados para el cálculo de M wind

Datos aplicados		Referencias	Resultado
v	Fracción de cubierta vegetativa [-]	(CONABIO, 2015)	0.15
Um	Velocidad del viento promedio [m/s]	(SMN, 2015)	3.61
Ut	-Velocidad del viento tomada a los 7 [m/s]	(CLICOM, 2011)	11
x		Appendix B (USEPA3, 2007)	2.699722992

F(x)	Función dependiente de Um / Ut	Appendix B, (USEPA3, 2007)	0.023312556
Asurf	Extensión del área del sitio con la contaminación del suelo superficial [m2 ]	Área de contaminación en zona sur, tomada de ArcGis	42600
ED	Duración de la exposición.[años]	Experiencia	0.2
Mwind	Unidad de masa emitida por la erosión del viento [g ]	(USEPA2, 2002)	0.332

$$M_{excav} \cdot 0.35 \times 0.0016 \times \frac{\left(\frac{U_m}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}} \times \rho_{soil} \times A_{excav} \times d_{excav} \times N_A \times 10^3 \text{ g/kg}$$

Ecuación 3.25

Tabla 3.27. Datos tomados para el cálculo de M xcav

Datos aplicados		Referencias	Resultado
Um	Velocidad media del viento durante la construcción	por defecto = 4,69 m / s (EPA , 1996 )	4.69
M	Contenido de humedad del suelo [%].	De cálculos anteriores	0.32
ρsoil	Densidad del suelo [g/cm^3]	(Cisneros, 2015)	1.32
Aexcav	Área de Excavación [m^2]	ArcGis	38817
dexcav	Profundidad de excavación [m]	ArcGis	13
NA	Número de veces que el suelo es objeto de vertimiento,	Experiencia	1
Mexcav	Unidad de masa emite desde el suelo		

	de excavación [g]	(USEPA2, 2002)	12981788.01
	[kg]		12981.7

$$M_{doz} \cdot 0.75 \times \frac{0.45(s)^{1.5}}{(M)^{1.4}} \times \frac{\Sigma VKT}{S} \times 10^3 \text{ g/kg}$$

Ecuación 3.26

Tabla 3.28. Datos tomados para el cálculo de M doz

Datos aplicados		Referencias	Resultado
s	contenido de sedimentos del suelo	(USEPA2, 2002)	0.069
M	Contenido de humedad del suelo.	De cálculos anteriores	0.32
Recorrido	[km/día]	Medido en Google Earth	0.440
Tiempo	Tiempo trabajado [d]	Experiencia	90
SUM VKT	Suma de kilómetros recorridos [km]	Fórmula	39.60
S	Velocidad media [kph]	Experiencia	12
Mdoz	Unidad de masa emitida por operaciones de aplanado [g]	(USEPA2, 2002)	101.68

$$M_{grade} \cdot 0.60 \times 0.0056(S)^{2.0} \times \Sigma VKT \times 10^3 \text{ g/kg}$$

Ecuación 3.27

Tabla 3.29. Datos tomados para el cálculo de M grade

Datos aplicados		Referencias	Resultado
S	Velocidad media [kph]	Experiencia	12
Recorrido	[km/día]	Medido en Google Earth	0.44

Tiempo	[Días]	Experiencia	90
SUM VKT	Suma de kilómetros recorridos [km]	Fórmula	39.60
Mgrade	Unidad de masa emitida por operaciones de clasificación de suelos.[g]	(USEPA2, 2002)	19160.064

$$M_{\text{till}} = 1.1(s)^{0.6} \times A_{\text{till}} \times 4,047 \text{ m}^2/\text{acre} \times 10^4 \text{ ha/m}^2 \times 10^3 \text{ g/kg} \times N_A$$

Ecuación 3.28

Tabla 3.30 Datos tomados para el cálculo de M till

Datos aplicados		Referencias	Resultado
S	Velocidad media [kph]	(USEPA2, 2002)	0.18
A <sub>till</sub>	Acres	Área de Labrado	3
NA	Num de veces de labrado	Experiencia	3
M <sub>till</sub>	Unidad de masa emitida por operaciones de labrado del suelo	(USEPA2, 2002)	1.422

Por lo que se tiene como resultado del factor de dispersión para los polvos fugitivos emitidos desde los suelos (Recordando que se utiliza la ecuación 3.19):

$$J_T = 9.51\text{E}+07 \text{ (g/m}^2\text{-s)}$$

Por lo tanto, para el factor de emisión de partículas, se tiene como resultado (Utilizando la ecuación 3.17):

$$PEF = 5.18\text{E}-07 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Calculado el factor de emisión de partículas para la zona sur (PEF), se calculó la dosis de exposición por inhalación de la siguiente manera, con la ecuación 3.29.

$$DE_{INH} = \frac{C_S * TI_{INH} * FBD_{INH} * FCE * (FEP + FV)^{-1}}{PC} \quad \text{Ecuación 3.29}$$

Donde se calculó el Factor de Volatilización (FV) de la zona saturada con la ecuación 3.30 y 3.31, y las variables utilizadas se presentan en la Tabla 3.31; Para incluir el Factor de Emisión de Partículas FEP, como lo indica la ecuación 3.29

$$FV = \left(\frac{1}{C}\right) * \left[\frac{\sqrt{3.1 * D_A * IE}}{2 * \rho_B * D_A}\right] * \left(10^{-4} \frac{m^2}{cm^2}\right) \quad \text{Ecuación 3.30}$$

Así como:

$$D_A = \frac{(n_A^{0.3} * D_i * H) + (n_w^{0.3} * D_w)}{n^2 * (\rho_B * K_D + n_w + n_A * H)} \quad \text{Ecuación 3.31}$$

Donde:

Tabla 3.31. Datos tomados para el cálculo del FV para HFL a los 4.8 m de profundidad.

Datos aplicados HFL		REFERENCIA	Resultado
1/C	Inverso de la concentración promedio [Kg SS/mg]	ANEXO 2, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.001108279
D <sub>A</sub>	Difusividad aparente [cm <sup>2</sup> /seg]	(Group, 2006)	0.000169408
IE	Intervalo de exposición [seg]	Experiencia	86400
ρ <sub>B</sub>	Densidad aparente del suelo seco [g/cm <sup>3</sup> ]	(Cisneros, 2015)	1.32
ρ <sub>S</sub>	Densidad del suelo por partícula [g/cm <sup>3</sup> ]	(E.H. Pechan & Associates, 1997)	2.65

n	Porosidad total del suelo $n = 1 - (\rho_B / \rho_S)$ [m <sup>3</sup> poros/m <sup>3</sup> suelo]	(E.H. Pechan & Associates, 1997)	0.501886792
n <sub>A</sub>	Porosidad del suelo rellena de aire $n_A = n - n_W$ [m <sup>3</sup> aire/m <sup>3</sup> suelo]	(E.H. Pechan & Associates, 1997)	0.338773585
n <sub>W</sub>	Porosidad del suelo rellena de agua [m <sup>3</sup> agua/m <sup>3</sup> suelo]	(E.H. Pechan & Associates, 1997)	0.163113208
D <sub>i</sub>	Coefficiente de Difusión en aire [cm <sup>2</sup> /seg]	(Group, 2006)	0.08
D <sub>W</sub>	Coefficiente de Difusión en agua [cm <sup>2</sup> /seg]	(Group, 2006)	0.000008875
H	Constante de la Ley de Henry [PA m <sup>3</sup> /moles]	(Group, 2006)	0.0059
K <sub>D</sub>	Coefficiente de partición suelo agua [cm <sup>3</sup> /g]	FÓRMULA	6.0225
K <sub>OC</sub>	Coefficiente de partición de carbón orgánico en suelo – agua [cm <sup>3</sup> /g]	(Group, 2006)	120.45
f <sub>OC</sub>	Fracción de carbón orgánico en suelo [g/g]	(Weiner, 2013)	0.05

Para la zona no saturada se calculo de igual manera que para las zonas norte y centro solo tomando en cuenta el FEP como se muestra en la ecuación 3.32:

$$C_a = C_s * (FV + FEP)^{-1}$$

Ecuación 3.32

Tomando en cuenta el factor de volatilización para la zona no saturada como ya se menciono anteriormente, con la ecuación 3.11

Por lo que se procedió a calcular la dosis de exposición por inhalación, tomando los valores de la Tabla 3.32

Tabla 3.32. Datos tomados para el cálculo de la dosis de exposición por inhalación para fracción ligera a los 14m.

Datos aplicados HFL		REFERENCIA	Resultado
$C_A$	Concentración de contaminante en aire [mg/L]	Calcula de fórmula para zona no saturada	0.29
$TI_{INH}$	Tasa de Inhalación [ $m^3/h$ ]	Tabla 7, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.83
$TRA_{INH}$	Tasa de retención del aire inhalado [%]	(Ruíz, 2006)	0.1
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	73
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	10
DuE	Duración de la exposición [años]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.2
$PTE_M$	Promedio del tiempo de exposición [d]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	14.6
FCE	Factor corrección de la exposición [-]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	1
PC	Peso corporal [Kg]	Tabla1, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	70
$FBD_{INH}$	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción del contaminante [%]	Tabla12, Anexo H, (Ruíz, 2006), (USEPA, 2002)	0.1

## INDICE DE RIESGO NO CANCERÍGENO

En el caso de la determinación del Índice de Peligro (riesgo no cancerígeno) total, se suman todos los indicadores para las diferentes rutas de exposición (como indica la ecuación 3.33 y sus variables en la Tabla 3.33), para este caso el suelo y las diferentes vías de exposición (j: ingestión, inhalación y contacto dérmico):

$$IP_T = \sum_{i=1}^{n,m} \left[ \frac{DE_i}{DdR_i} \right]_j \quad \text{Ecuación 3.33}$$

Tabla 3.33 Variables para el cálculo del índice de Riesgo no Cancerígeno

DE	Dosis de Exposición [mg/kg/día]
DdR	Dosis de referencia [mg/kg/día], Anexo H, (Ruíz, 2006)
IP	Índice de Riesgo no cancerígeno (Ruíz, 2006)

## INDICE DE RIESGO CANCERÍGENO

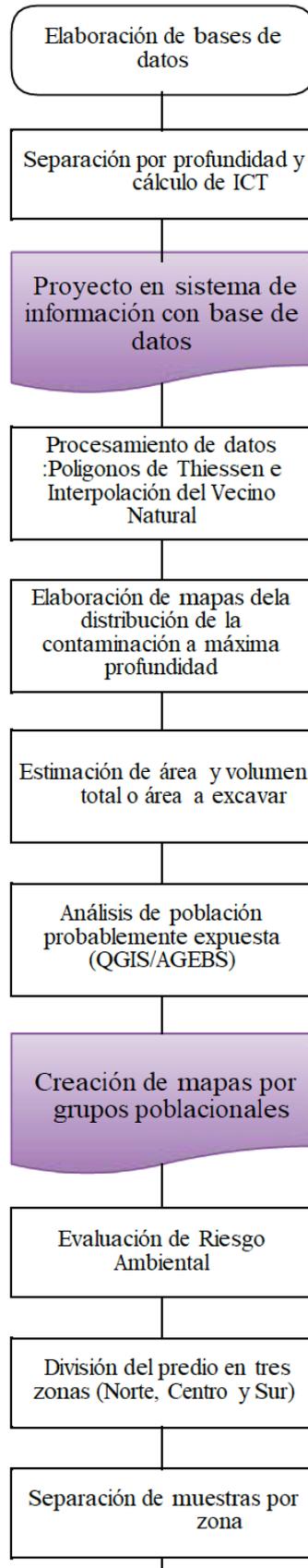
La estimación del riesgo cancerígeno de cada contaminante crítico que para ese caso es el benceno, se realizó para todas las rutas de exposición en los que se encontró dicho contaminante y para todas las vías de exposición, como se puede apreciar en la ecuación 3.34 y sus variables en la Tabla 3.34.

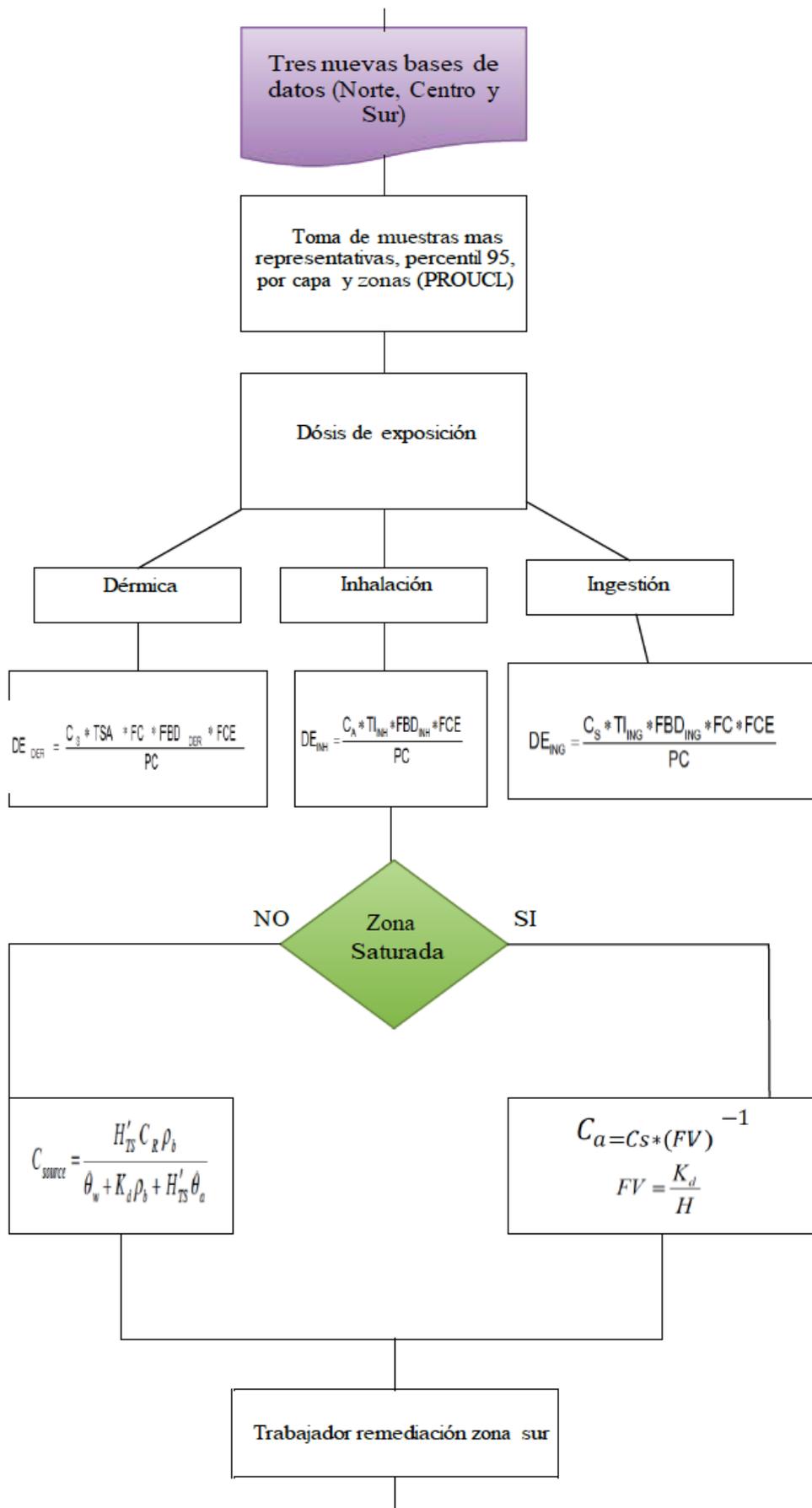
$$IR = \sum_{i=1}^{nm} [DE_i * FPC_i]_j \quad \text{Ecuación 3.34}$$

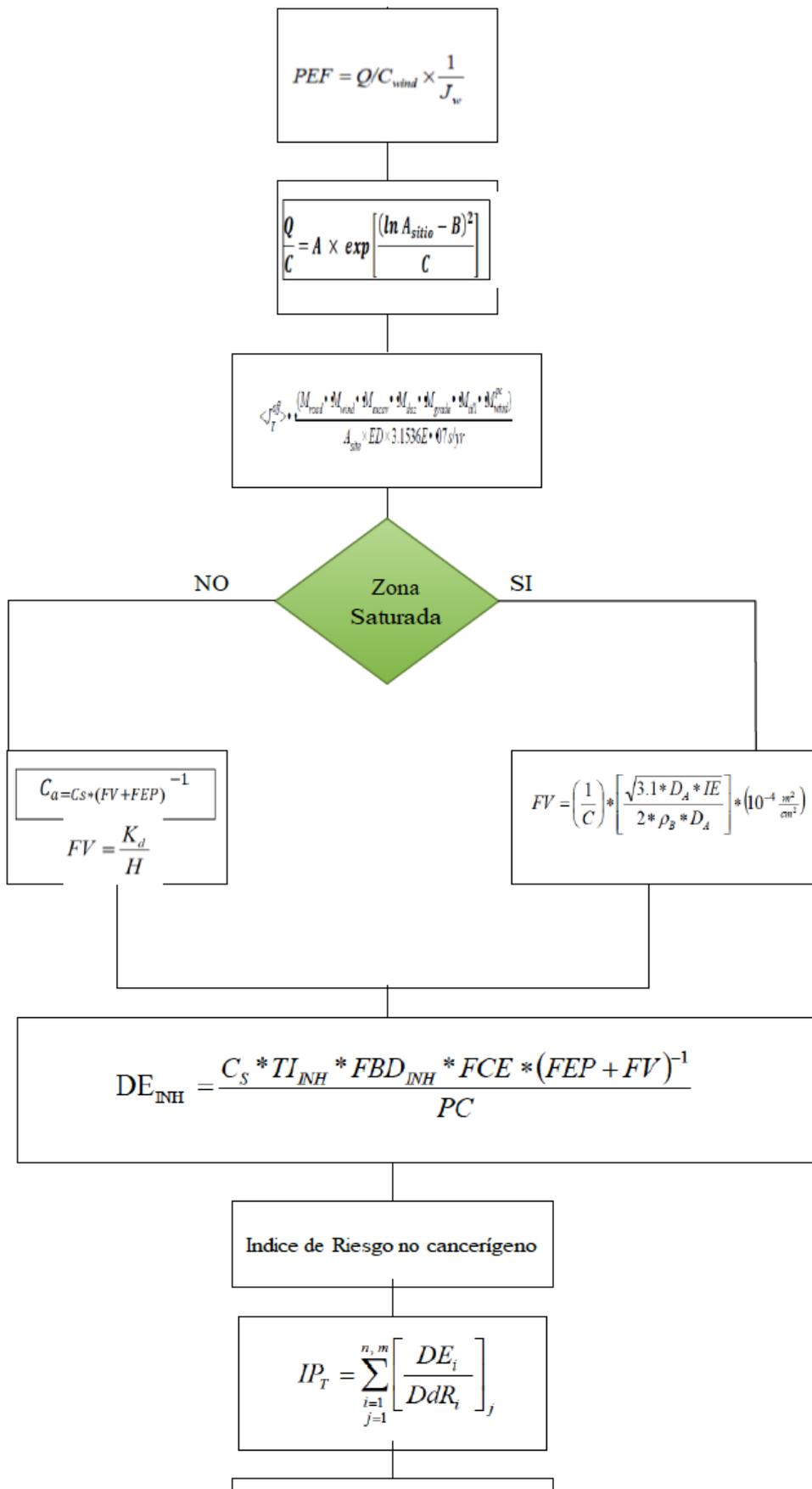
Tabla 3.34 Variables para el cálculo del índice de Riesgo Cancerígeno

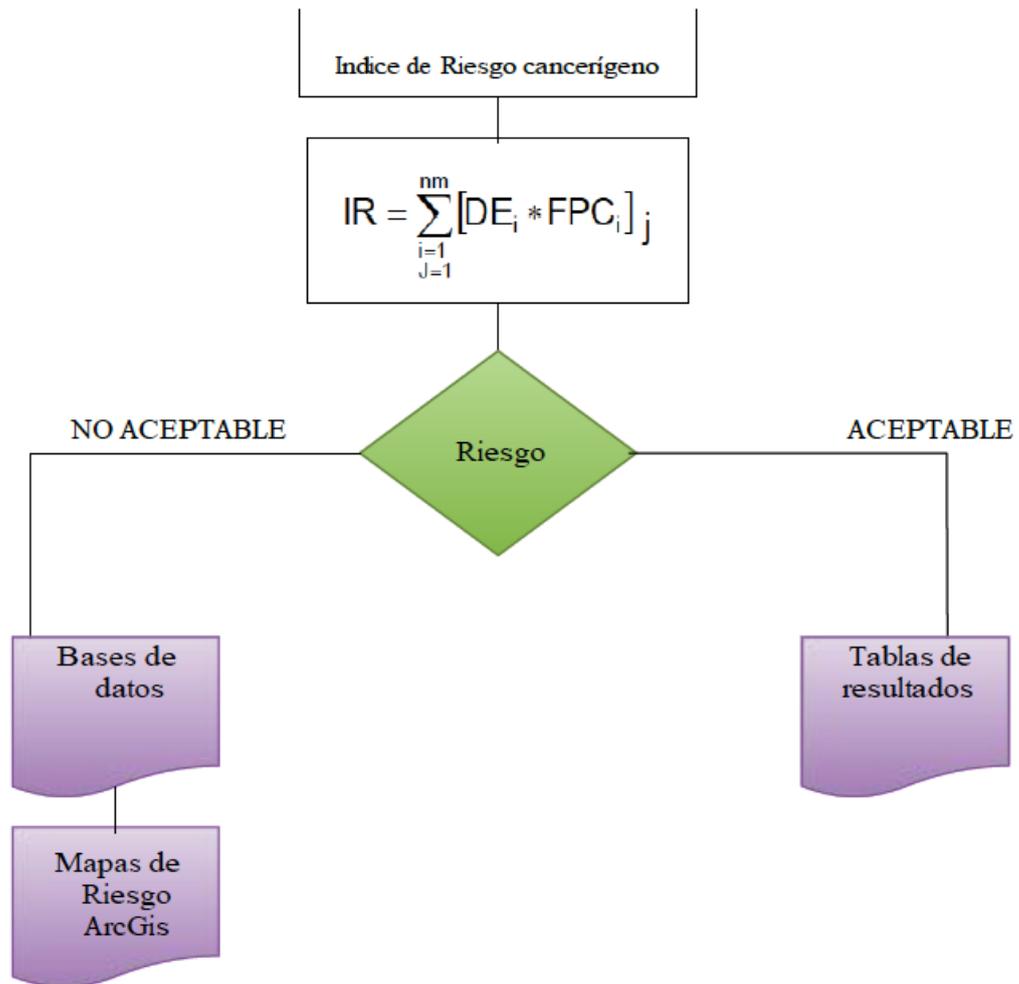
DE	Dosis de Exposición [mg/kg/día]
FPC	Factor de pendiente de cáncer, Anexo H, (Ruíz, 2006)
IR	Índice de Riesgo Cancerígeno (Ruíz, 2006)

## DIAGRAMA DE FLUJO









## **CAPITULO 4**

### **DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

## 4.1 SUPERFICIE DEL PREDIO

La superficie total de las instalaciones es de 344,600.477 m<sup>2</sup>, de los cuales el área de talleres comprende 35,000 m<sup>2</sup>; el Centro Deportivo Ferroviario tiene un área de 112,000 m<sup>2</sup>; el Taller No.4 tiene un área de 20,000 m<sup>2</sup>; el Centro de Capacitación y Laboratorio cubre un área aproximada de 8,000 m<sup>2</sup>; las áreas de Oficinas Administrativas, Cafetería, Estacionamiento y Vigilancia, aproximadamente cubren un área de 8,000 m<sup>2</sup>, las áreas de Amortiguamiento Ecológico son de aproximadamente 60,000 m<sup>2</sup>; los andadores ocupan 12,000 m<sup>2</sup> y; el área de desechos interno 15,000 m<sup>2</sup>, como se observa en la figura 4.1

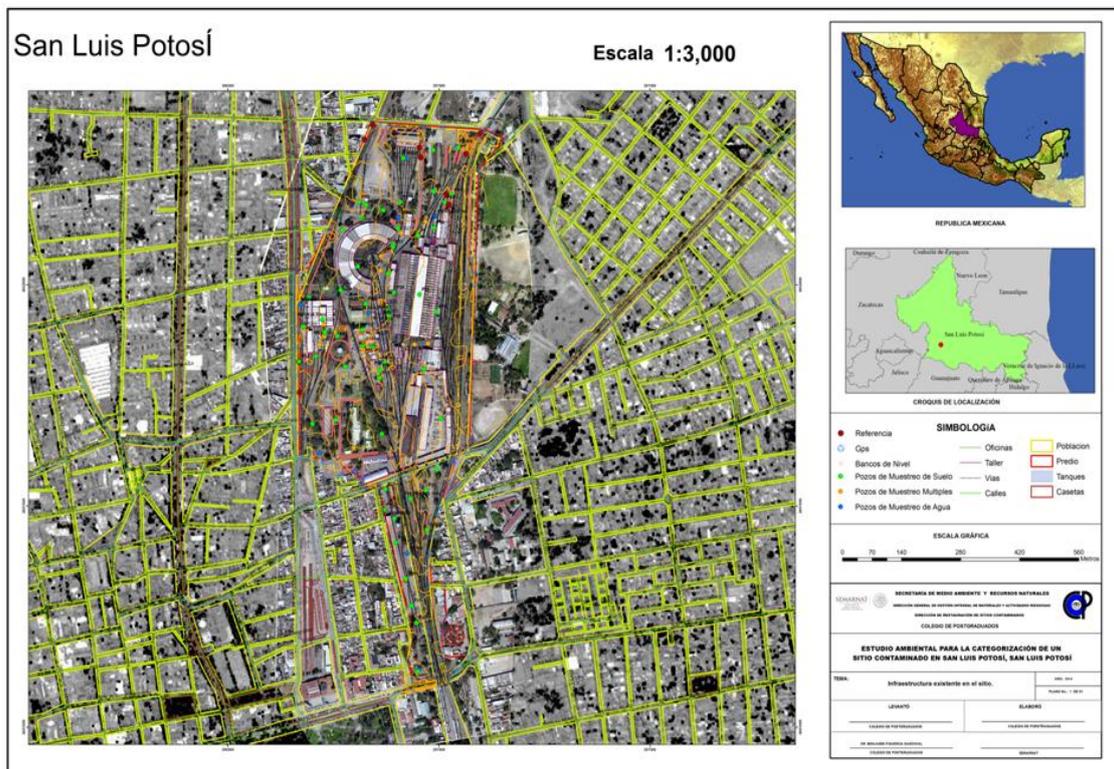


Figura 4.1. Plano del límite de predio de los ex talleres y zona de abasto de FNML en San Luis potosí, S.L.P., en colaboración con Justin Bishof

## DIMENSIONES

De la división que se tuvo que realizar por lo ya explicado en el capítulo anterior, se obtuvieron las distribuciones como se muestra en la figura 4.2 y áreas como se presenta en la Tabla 4.1.

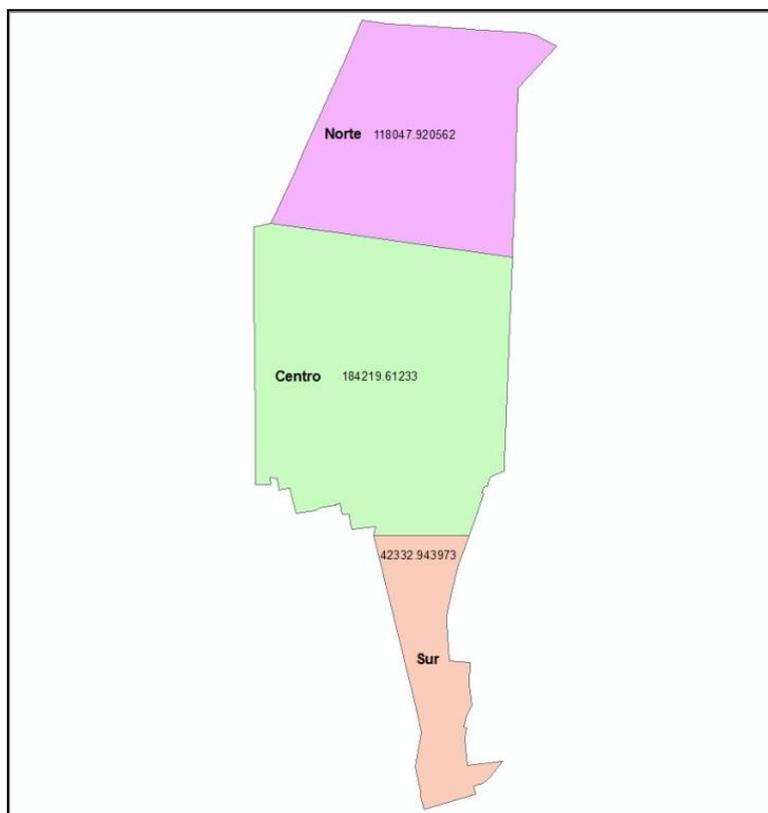


Figura 4.2 Formación de polígonos del predio ArcGis

Tabla 4.1 Áreas por zonas

POLIGONO	AREA (m <sup>2</sup> )
NORTE	184219.61233
CENTRO	118047.920562
SUR	42332.943973
TOTAL	344,600.477

## 4.2 UBICACIÓN DEL PREDIO

El sitio contaminado se localiza en la Av. 20 de Noviembre esquina con Juan Álvarez, Colonia Azteca Norte, Ciudad de San Luís Potosí, S. L. P. El predio colinda al norte con la calle de Juan Álvarez, al oeste con la Avenida 20 de Noviembre, al este con el Centro Deportivo Ferroviario y al sur con la calle de Alonso, la calle Azteca Sur y con el patio de maniobras del Ferrocarril Kansas Southern Railroad de México, como se muestra en la figura 4.3 (COLPOS, 2015 B).



Figura 4.3. Imagen satelital del sitio con sus coordenadas UTM (WGRS 84) [COLPOS, 2015 B].

La población que está en colindancia en un radio de 100 a 600m del sitio contaminado es de un total de 4232 habitantes, esto se obtuvo con apoyo del programa Qgis, como se observa en la figura 4.4.

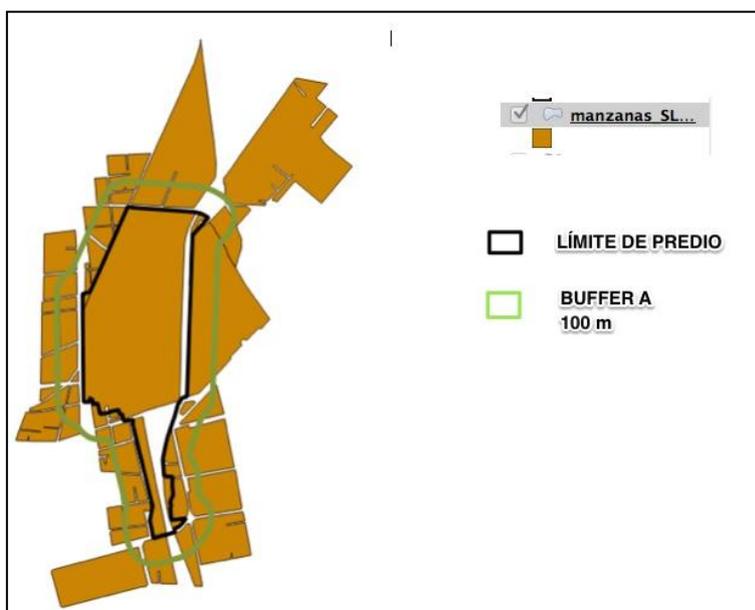


Figura 4.4.- Manzanas que colindan con el sitio contaminado,(QGIS).

### 4.3 EXPOSICIÓN

De acuerdo a la investigación que se realizó a base de la información socio demográfico proporcionada por INEGI, consulta al Atlas de Riesgos de CENAPRED, así como la observación del sitio y el procesamiento de datos mediante QGIS:

Se puede observar que a nivel de marginación por localidades es muy bajo de acuerdo al CENAPRED, no hay hospitales en un radio de 100m al predio de estudio.

De acuerdo al procesamiento de información utilizando QGIS, se encontró que, en un radio de 100m, del grupo poblacional de adultos de 30 a 49 años de edad se tuvo un total de 1050 habitantes, como se puede apreciar en la figura 4.5



Fig. 4.5.- Mapa de manzanas en un radio de 100m con población probablemente expuesta.de 30 a 49 años (QGis).

De la misma forma, se encontró que en su mayoría, viven personas del sexo femenino de todas las edades, ya que obtuvimos un total de 2211 habitantes como se aprecia en la figura 4.5; Sin embargo, este grupo poblacional no fue utilizado en el análisis.

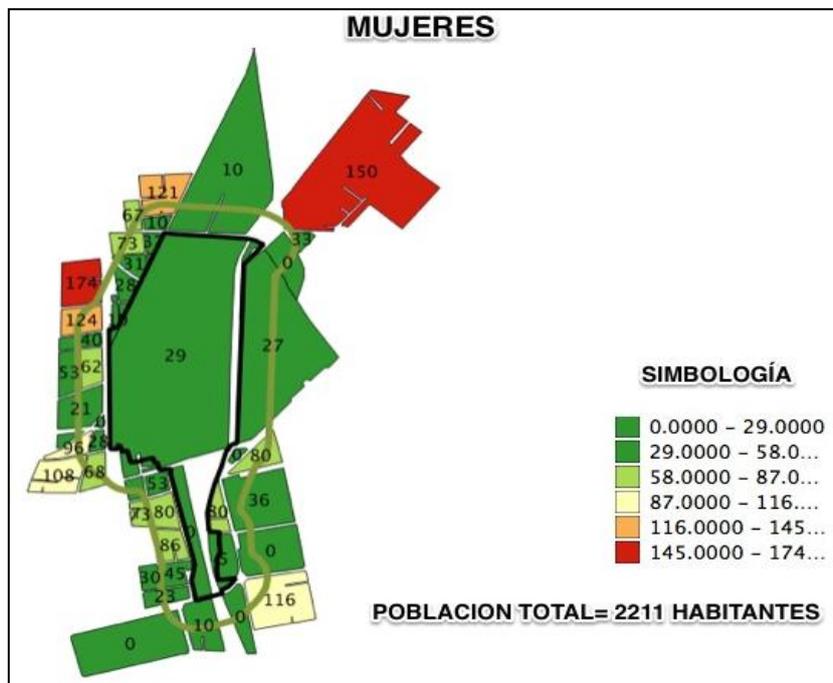


Fig. 4.6- Mapa de manzanas en un radio de 100m con población probablemente expuesta.de mujeres (QGis).

También se observó que de niños entre 0 y 11 años hay 707 habitantes, como se observa en la adición de los datos obtenidos de las figuras 4.7 a 4.9.



Fig. 4.7.- Mapa de manzanas en un radio de 100m con población probablemente expuesta niños de 0 a 2 años. (QGis).



Fig. 4.8.- Mapa de manzanas en un radio de 100m con población probablemente expuesta de 3-5 años.(QGis).

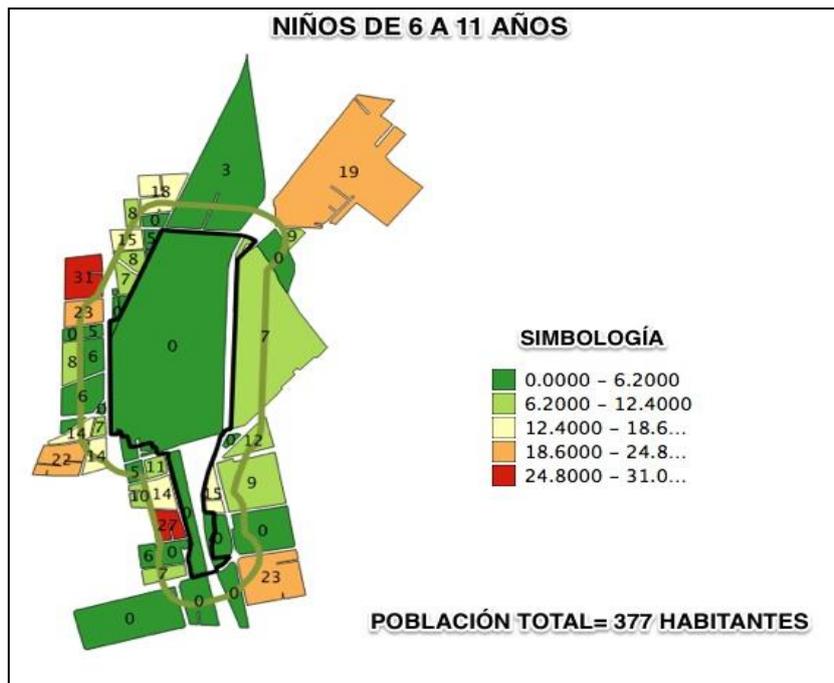


Fig. 4.9.- Mapa de manzanas en un radio de 100m con población probablemente expuesta de 6-11 años (QGis).

De los niños de 12 a 14 años se obtuvieron 203 habitantes, como se muestra en la figura 4.10



Fig. 4.10.- Mapa de manzanas en un radio de 100m con población probablemente expuesta de 12-14 años (QGis).

Así mismo se notó que de 15 a 29 años hay 1133 habitantes (figura 4.9), igualando casi a los adultos por lo que se puede apreciar que la mayoría de la población es potencialmente óptima para estar laborando, los niños están a la par de todos los campos.

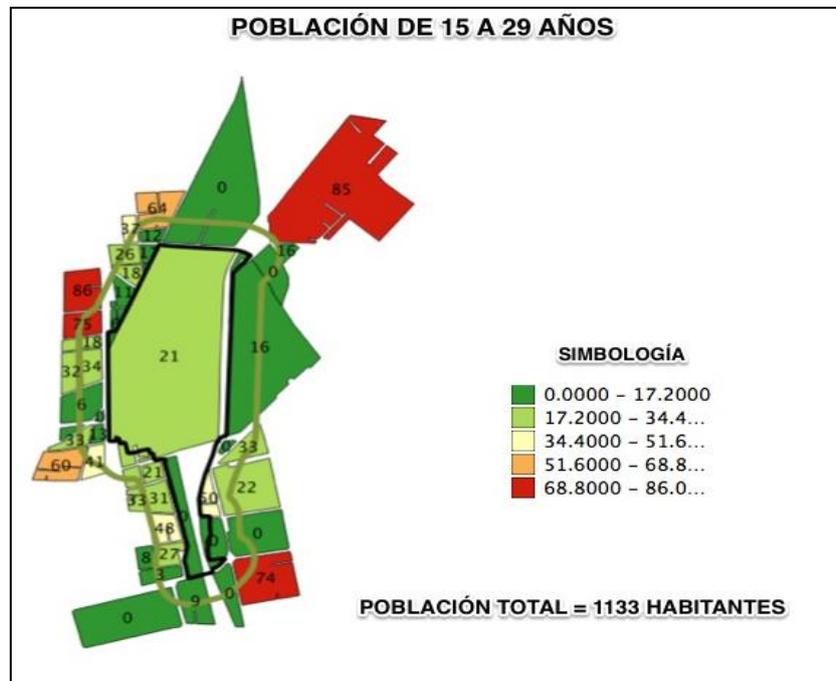


Fig. 4.11.- Mapa de manzanas en un radio de 100m con población probablemente expuesta de 15 a 29 años (QGis).

Cabe mencionar que los adultos de la tercera edad (de 60 años de edad o más) son la minoría con 468 habitantes, como se observa en la adición de las figuras 4.12 y 4.13.

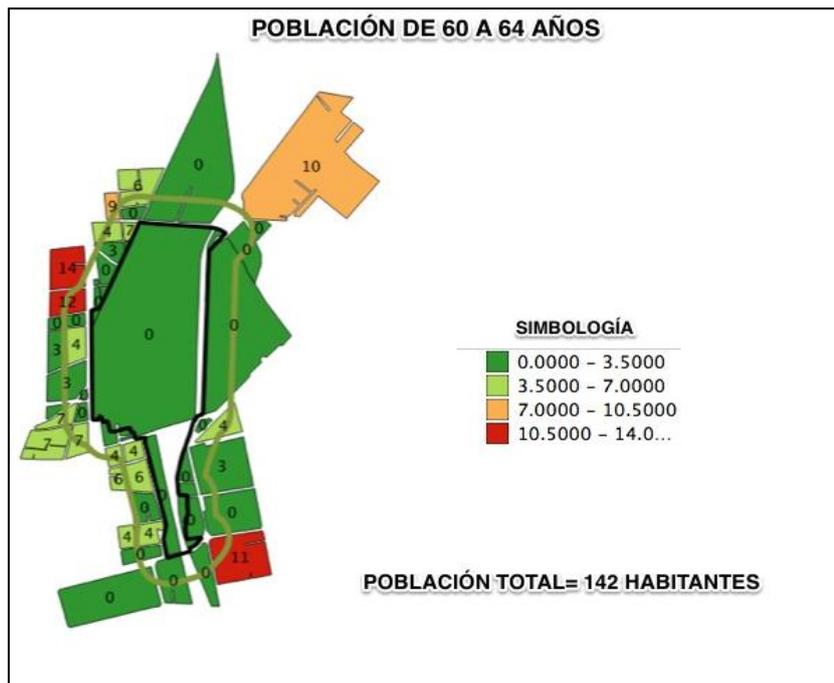


Fig. 4.12- Mapa de manzanas en un radio de 100m con población probablemente expuesta. de 60 a 64 años(QGis).

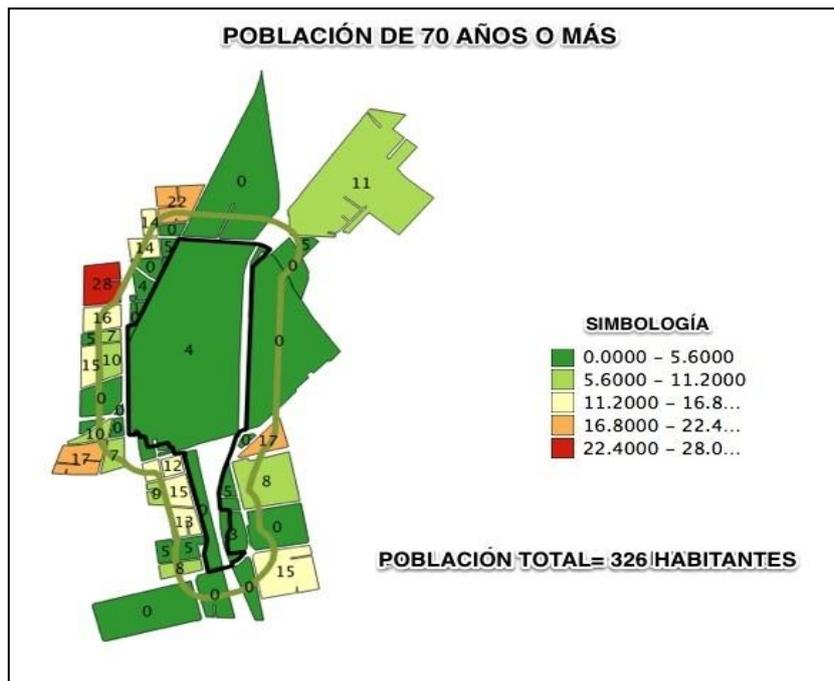


Fig. 4.13.- Mapa de manzanas en un radio de 100m con población probablemente expuesta. de 70 años (QGis).

Y por último del grupo poblacional de las personas de 50 a 59 años de edad, se obtuvo un total de 394 habitantes, como se muestra en la figura 4.14.

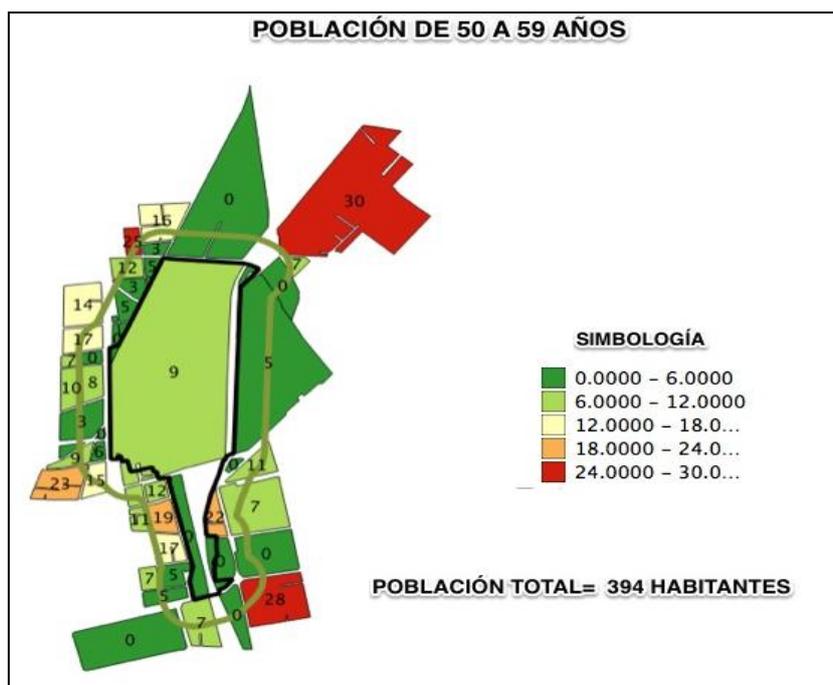


Fig. 4.14.- Mapa de manzanas en un radio de 100m con población probablemente expuesta de 50 a 59 años (Qgis).

Las colonias que se vieron más afectadas y para las que se refirió este estudio serían:

- Avantram
- La Paz
- De Alonso
- Alameda
- Azteca Norte
- Constitución Popular
- Av. México

Las colonias anteriores están acomodadas por grado de cercanía al sitio contaminado.

#### 4.4 DESCRIPCION SOCIOECONOMICA DEL SITIO

Principalmente las zonas de estudio cuentan con los servicios básicos de agua y electricidad, ya que es una zona urbanizada pero con muchas carencias, en su mayoría no hay asfalto y son caminos de tierra suelta lo cual propicia la dispersión y o volatilización del contaminante.

Por la observación de campo se pudo observar que las viviendas estaban un poco descuidadas la mayoría no cuenta con acabados de la fachada ni pintura aunque hay su excepción, se notó que casi todas las casas contaban con un tinaco Rotoplas para el abastecimiento y almacenamiento de agua potable, así

como el cableado para luz y algunas personas como se diría informalmente colgadas de este servicio.

A simple vista se pudo notar el tipo de autos que se manejan por esa zonas los cuales no son muy nuevos en su mayoría y si llega a haberlos son solo autos compactos, así como se pudo observar que algunas casas tenían servicio de televisión de paga (solo Dish).

También se pudo observar el nivel de vida de esa zona debido a que la única tienda de autoservicio es Aurrera la cual solo se ubica en lugares de bajo nivel socioeconómico, tampoco hay plazas comerciales y solo en una colonia de las mencionada anteriormente hay tienditas y locales comerciales.

Tampoco se logró ver algún tanque de gas estacionario por lo que queda en duda el uso de gas o qué tipo de éste se utiliza.

Por lo que en rango de afectación por la presencia de este contaminante en este sitio es de 9 en una escala del 1 al 10.

Debido a que la principal exposición sería por la inhalación o ingestión debida a la volatilización del contaminante y su distribución al no contener el material ni donde lo retenga y que al contrario, se va removiendo y desplazándose como se lleva a cabo la vida en este lugar.

Así mismo mediante una clasificación de campos en ArcGis se pudo ver que la población más concentrada dentro de esa área son niños de 0 a 14 años, en segundo lugar los adultos y en tercero los adolescentes. Por lo que coincide también a la calificación dada respecto al rango de afectación debido a que la población más afectada y que está más expuesta son los niños y estos son los que permanecen en esta área y no hacen traslados muy largos a lo largo del día.

#### **4.5 MODELO CONCEPTUAL**

Se elaboró el modelo conceptual para determinar las rutas de exposición de acuerdo al análisis de la población llegando a determinar los grupos poblacionales más afectados tomando en cuenta el escenario más desfavorable para determinar las vías de exposición, como se aprecia en la figura 4.15

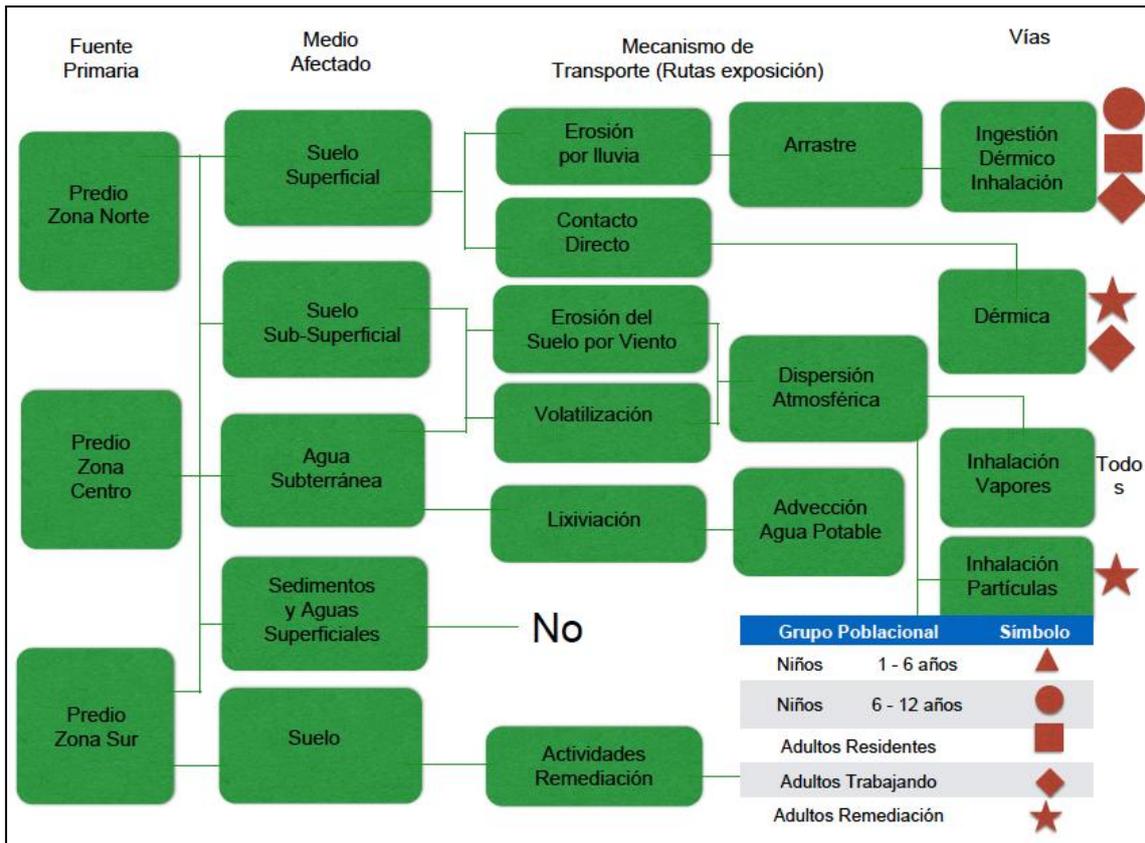


Fig. 4.15- Modelo conceptual para determinar las vías de exposición así como los grupos poblacionales afectados.

## 4.6 ACTIVIDADES DEL SITIO

Desde el punto de vista operativo, el Área de Talleres y Zona de Abastos de Ferrocarriles Nacionales de México, en San Luis Potosí, desde su inicio ha ofrecido los servicios de mantenimiento - reparación de locomotoras, así como el abastecimiento de combustible Diesel y Aceites Lubricantes. Los diferentes trabajos reportados para este sitio han determinado que las fuentes contaminantes son las locomotoras, las fugas de las líneas, conexiones y los drenajes enterrados, tanto sanitarios, como de lubricantes y aceites. Los sitios y actividades en donde se reportan daños ambientales en los diferentes informes consultados incluyen:

1) El área de la Casa Redonda. Esta es una de las áreas principales donde se ha detectado gran parte de la contaminación existente. Así mismo, se han observado diversas fugas de combustible y lubricantes desde la zona de vías que conducen a las locomotoras hacia la Casa Redonda y durante la permanencia de éstas mientras son reparadas (COLPOS, 2015 C).

En los estudios revisados se ha señalado que las zonas que han recibido estas fugas de contaminantes son: las vías de acceso a la casa, el distribuidor de las locomotoras y los drenajes, tanto de hidrocarburos como sanitario. Esta contaminación afecta al suelo superficial y al subsuelo llegando hasta las aguas

subterráneas donde la contaminación es disuelta, evaporada o infiltrada (COLPOS, 2015 C)

2) El área de almacenamiento de combustibles y lubricantes. Esta zona está ubicada junto a la zona de abasto, y comprendía el tanque vertical de combustible Diesel y los tanques horizontales incluyendo los de lubricantes. La causa principal del origen de la contaminación en esta área eran las fugas de material contaminante en las tuberías y conexiones enterradas y aéreas, así como en los mismos tanques y recipientes que contienen los combustibles y lubricantes. (COLPOS, 2015 C)

Cabe mencionar que para este estudio solo se está contemplando la contaminación por hidrocarburos ya que en otras áreas de servicio como el taller de tornos, la escuela de Diesel y Panta de Cromado están contaminado con metales pesados (COLPOS, 2015 C).

**CAPITULO 5**  
**CARACTERIZACIÓN**

## 5.1 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS, GEO-HIDROLÓGICAS

La región del VSLP presenta valores bajos de precipitación de 200 a 250 mm y una tasa de evaporación alta que alcanza valores similares a los de precipitación, que provocan que la infiltración del agua hacia los acuíferos sea baja (COLPOS, 2015 C)

El clima de la ciudad de San Luis Potosí se clasifica como BSk es decir muy seco, cálido con lluvias en verano. Su temperatura media anual es de 17.9 °C y su precipitación es de 341 mm anuales (figura 5.1) (COLPOS, 2015 C)

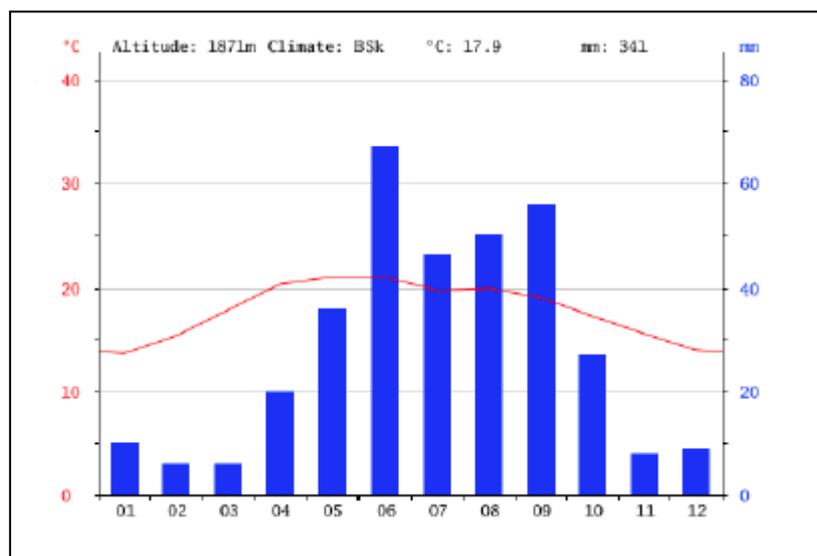


Figura.5.1. Temperatura y precipitación mensual de la Ciudad de San Luis Potosí (Climate-data.org, 2014).

## GEOLOGÍA DEL VALLE DE SAN LUIS POTOSI

La columna estratigráfica del Altiplano Potosino incluye rocas sedimentarias y volcánicas cuyas edades van del Cretácico al Reciente (Labarthe–Hernández et al., 1982) Las rocas sedimentarias del Cretácico están constituidas principalmente por las formaciones El Abra, Tamabra, Indidura y Cuesta del Cura; las calizas cretácicas fueron cortadas en el pozo Rivera a profundidades de 700 a 1,200 m y su litología incluye calizas arcillosas de ambientes de cuenca marina. El piso rocoso está formado por la Latita Portezuelo y la Formación Cenecera, ambas del Terciario inferior, las cuales se encuentran sepultadas a diferentes profundidades dentro del valle por cenizas volcánicas y conglomerados intercalados del Terciario medio y por material aluvial y lacustre del Terciario superior y Cuaternario con algunas intercalaciones de basalto de la misma edad. (COLPOS, 2015 C)

Los sedimentos que rellenaron el valle y dieron origen a la planicie sobre la que se localiza el predio de FNM, se clasifican de manera genérica como Aluvión de edad Cuaternario Reciente, consisten en una secuencia de capas de, arena, limos, arcillas y areniscas. Lateralmente se intercalan unas capas con otras de manera heterogénea. Se tienen reportes de que su espesor es de aproximadamente 200 m. Los sedimentos y rocas, corresponden a materiales fluvio-lacustres producto del intemperismo y erosión de las rocas ígneas ácidas (riolitas-ignimbritas) del volcanismo ácido de la región. (COLPOS, 2015 C)

La figura 5.2 muestra un resumen de la geología y estratigrafía de la zona.

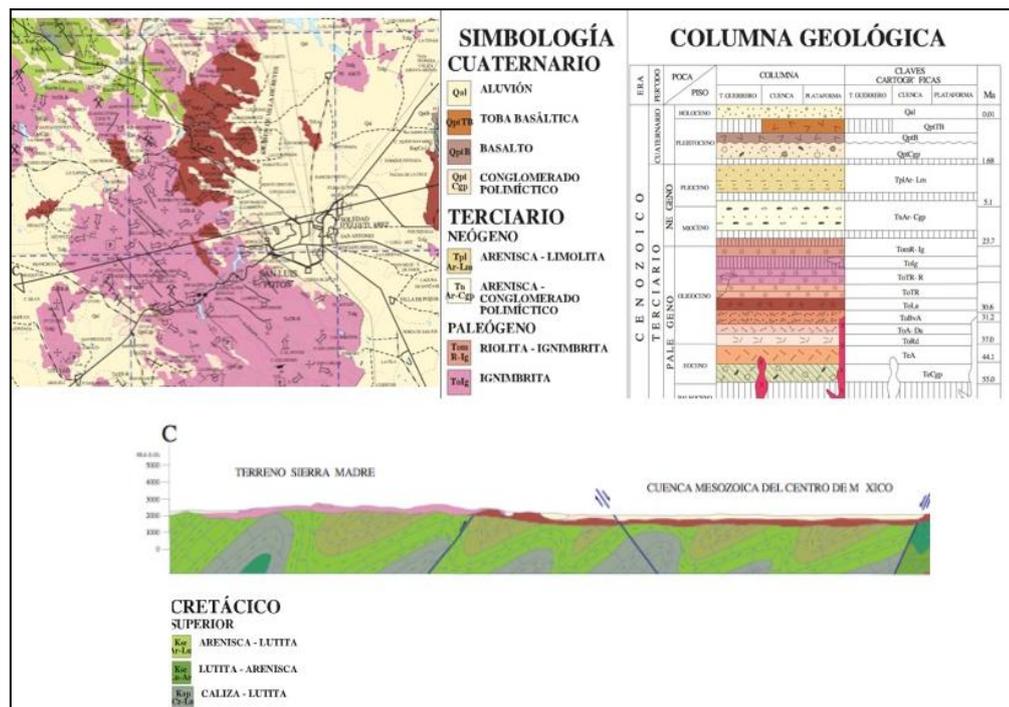


Figura.5.2- Carta Geológica Minera de los valles de San Luis Potosí, INEGI

## HIDROLOGÍA DEL VALLE DE SAN LUIS POTOSÍ

La zona de interés se encuentra dentro de la Región Hidrológica No. 37 (RH37), perteneciente a una de las vertientes interiores más importantes del país. Se localiza en la altiplanicie septentrional y la mayor parte de su territorio está situado a la altura del Trópico de Cáncer. El hecho de que esta Región Hidrológica esté constituida por una serie de cuencas cerradas, de diferentes dimensiones, careciendo casi por completo de elevaciones importantes, aunado a las condiciones climatológicas de la región, hacen que no haya grandes corrientes superficiales (COLPOS, 2015 D)

Asimismo, pertenece a la Cuenca 37G (Presa San José-Los Pilares y Otras). Esta Cuenca ocupa un lugar importante dentro de San Luis Potosí, tanto por el

área que abarca 10,817.92 km<sup>2</sup>, como por las ciudades asentadas en ella, entre las que destacan la capital estatal, Soledad Díaz Gutiérrez, Zaragoza, Arista, Moctezuma, Venado y Charcas (COLPOS, 2015 D).

A continuación se muestra la subcuenca en que está situado el sitio bajo estudio denominada Cuenca de San Luis Potosí; La cual es una cuenca cerrada de alrededor de 1,900 m<sup>2</sup> de superficie (COLPOS, 2015 D).

La figura 5.3 nos muestra un resumen concreto de la hidrología de la zona.

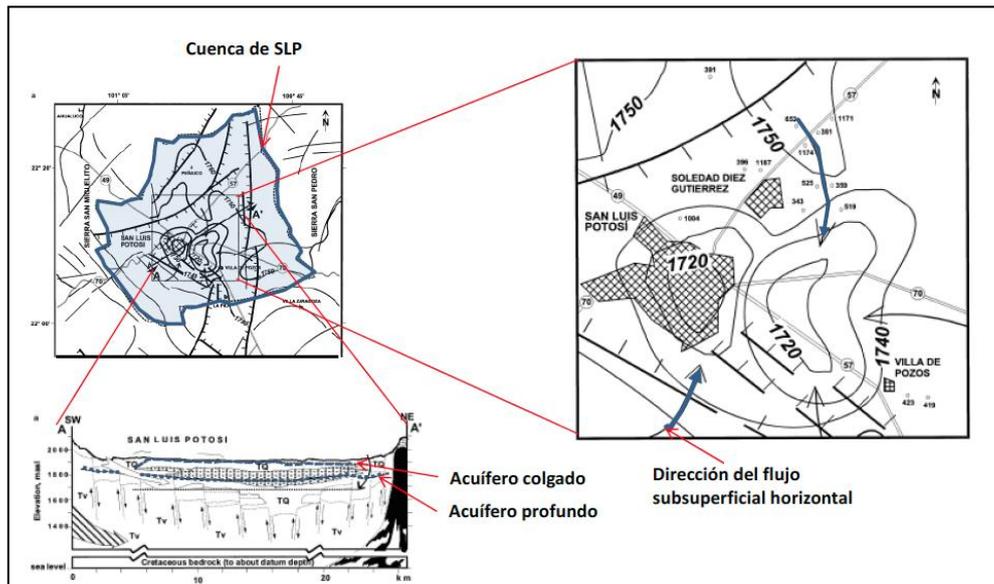


Figura 5.3.- Estructura tectónica de la cuenca de San Luis Potosí mostrando líneas piezométricas (COLPOS, 2015 D).

La información geohidrológica que se tiene del predio, corresponde a la parte más superficial del acuífero superior de la región. Distribuidas de manera irregular se tienen capas lenticulares de arenas medias y gruesas y de arenas con limos, con permeabilidad media a alta (COLPOS, 2015 E).

Las capas impermeables que permiten que existan los lentes de aguas colgadas son las capas de arcillas y las areniscas en sus partes más consolidadas, de mayor espesor o de roca más sana, esto, porque se encontró que donde las capas de arenisca son muy delgadas y han sido afectadas por contaminación, la roca se encuentra muy intemperizada, lo cual la ha convertido en roca de permeabilidad media a alta (COLPOS, 2015 E).

En las áreas en que se han realizado obras para el tránsito del ferrocarril y de estacionamiento de las locomotoras, se tiene una capa de materiales de relleno que varía entre 1 y 2.5 m de espesor. En este caso el agente de depósito ha sido el hombre por lo que se dice que son de origen antrópico (COLPOS, 2015 E).

Tales materiales corresponden principalmente a grava (Balastro "más de 1" de diámetro nominal"), grava con arena, arena, limos, arcilla y mezclas de éstos. Las gravas son en gran parte desechos de fundición que fueron triturados a dicho tamaño y se utilizaron como material de relleno. Las gravas de desecho de fundición se encuentran también en áreas como la de la margen Noreste del predio en donde se infiere que se utilizaron para rellenar algunas depresiones del terreno (COLPOS, 2015 D).

En otras partes; por ejemplo, atrás de la casa redonda, los materiales de relleno son materiales de chatarra, están constituidos por tornillos, rondanas, tuercas, alambres, pedazos de fierro, etc., mezclados con fragmentos de roca y suelo (COLPOS, 2015 D).

Dichos materiales de chatarra se encuentran en pleno proceso de oxidación la cual se ve favorecida por los agentes climáticos. Bajo los materiales de relleno se tienen las capas de sedimentos depositados por agentes naturales (COLPOS, 2015 D).

El área de estudio se encuentra afectada por fracturas que alcanzan hasta aproximadamente 60 m de profundidad, su patrón de disposición es subparalelo y su orientación predominante es Este-Oeste. (COLPOS), 2015 D].

Durante el desarrollo del estudio se llevaron a cabo mediciones del nivel freático en 15 pozos de monitoreo piezométrico instalados en el estudio y en 17 pozos instalados durante los estudios realizados por IOOM TEMA y por ICF Kaiser Servicios Ambientales, S.A. de C.V. en el predio bajo estudio. Los datos obtenidos, se corrigieron a la cota de nivel de 1851 msnm y por espesor de la capa de libre de hidrocarburos. El nivel de la manto freático se sitúa con respecto a la cota 1,851 msnm hasta 4.85 m (COLPOS, 2015 E).

Existen en el predio dos direcciones de flujo una que va desde el extremo oeste al centro del predio hasta el extremo NE (O-NE) y del extremo oeste al centro del predio hasta el extremo sureste (O-SE). (COLPOS, 2015 F)

De acuerdo a los resultados del sondeo eléctrico vertical se determinó que para la zona norte y centro se tenía la misma estratigrafía que corresponde de 0.05m a 4.8m con Limos arcillosos arenosos, de 4.8 m a 12 m con Limos y arenas y de 12 a 14 m de profundidad con arenas. (COLPOS, 2015 F).

Para la zona sur por medio del mismo sondeo se determinó que de 0.05 a 4.8 m correspondía a limos arenosos arcillosos, de 4.8 a 10.8 a limos y de 10.8 a 14 con arenas (COLPOS, 2015 F).

## 5.2 RESULTADOS DEL MUESTREO DEL SUELO Y DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Los hidrocarburos a analizar se definieron en función de los contaminantes reportados en los antecedentes históricos del predio y utilizando la tabla 5.1 de la norma NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012. En el caso del predio la información previa reportaba como fuente de la contaminación a una mezcla de productos derivados del petróleo por lo que se consideró conveniente usar como criterio el concepto de la tabla denominado "Mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo".

Tabla 5.1. Hidrocarburos que deberán analizarse en función del producto contaminante según la Tabla 1 de la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012

PRODUCTO CONTAMINANTE	HIDROCARBUROS				
	FRACCIÓN PESADA	FRACCIÓN MEDIA	HAP	FRACCIÓN LIGERA	BTEX
Mezcla de productos desconocidos derivados del	X	X	X	X	X
Petróleo crudo	X	X	X	X	X
Combustóleo	X		X		
Parafinas	X		X		

Tabla 5.2 Contaminantes a analizar en agua subterránea

CONTAMINANTE A ANALIZAR	MÉTODO ANALÍTICO A APLICAR
Fracción Pesada	EPA 1664A.
Fracción Media	EPA 8015B.
Fracción Ligera	EPA 8015B
BTEX	EPA 8260B
Poli Aromáticos	8270C
Metil-ter-butil-éter (mtbe).	EPA 8015B

Cabe mencionar que para este trabajo solo se está analizando el suelo como medio contaminado.

Para la determinación del número de puntos de muestreo se utilizó la 5.2 de la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 que considera como criterio de asignación la superficie del área contaminada. Se consideró el área que forma el polígono del predio, que en nuestro caso son 34.46 ha. Para esta superficie la Tabla 4 señala más de 50 pero menos de 53 muestras. Se determinó que el total

mínimo de muestras a tomar fuera 53 (cincuenta y tres), su ubicación y distribución en el predio se muestra en la figura 5.4.

La profundidad de 15 m para el muestreo se estableció tomando en cuenta que en la investigación histórica se reportó contaminación del suelo hasta esta profundidad.

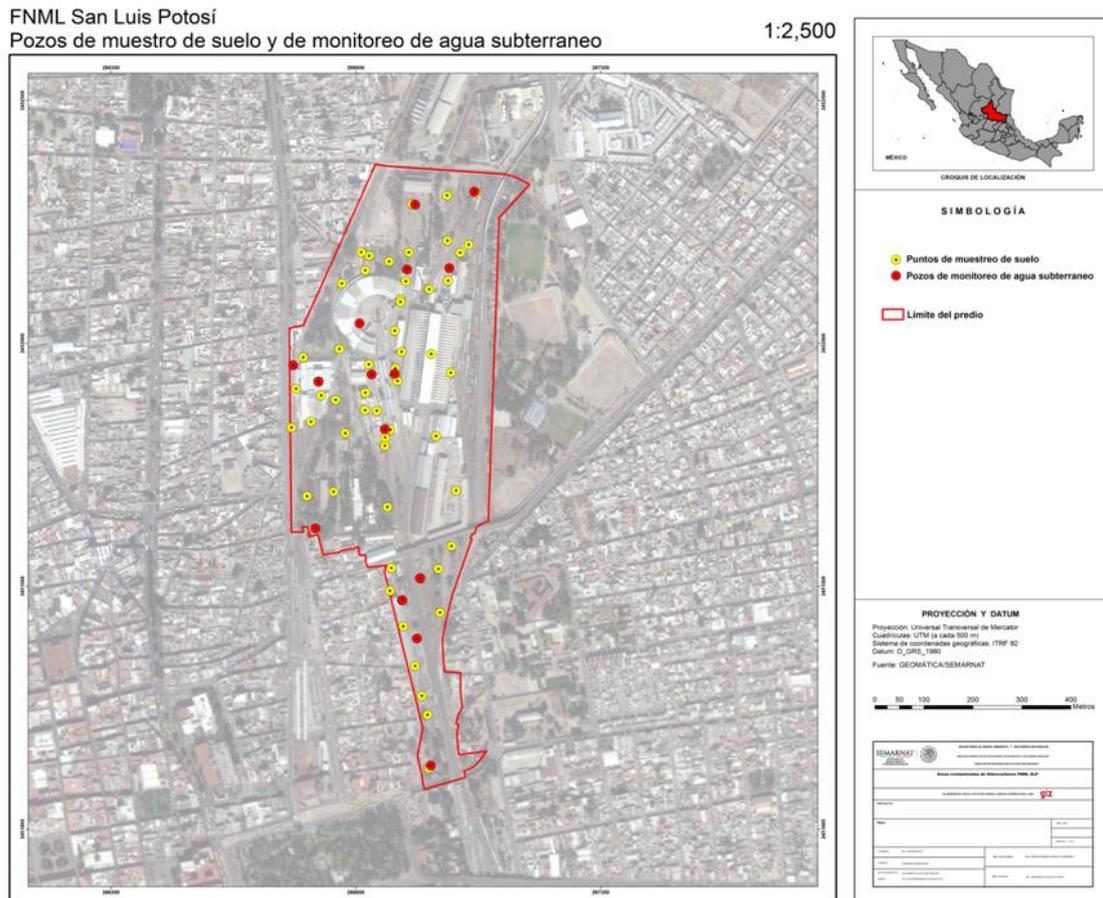


Fig. 5.4.- Plano de puntos de muestreo, ArcGis.

Se obtuvieron un total de 758 muestras las cuales fueron analizadas y tomadas por Laboratorios ABC Química Investigación y Análisis, S.A. de C.V., dicho laboratorio se encuentra acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación A.C. (EMA) y PROFEPA para realizar estas actividades.

Las muestras fueron analizadas por los siguientes métodos analíticos de conformidad con lo establecido en las normas:

De acuerdo a los análisis realizados se encontró que el sitio presenta problemas de contaminación con hidrocarburos en la matriz del suelo y contaminación con hidrocarburos, metales pesados y compuestos orgánicos en el manto freático colgado.

Tomando en cuenta los hidrocarburos únicamente, se estimó el área contaminada mediante ArcGis, con los dos métodos señalados en el capítulo 3, obteniendo como resultado los valores mostrados en las tablas 5.3 y 5.4

Tabla 5.3 Área y volumen obtenidas a partir del ICT con el método de Poligonos de Thiessen

<b>POLIGONOS DE THIESSEN</b>	
AREA	240,789 m <sup>2</sup>
VOLUMEN	1,095,385 m <sup>3</sup>

Tabla 5.4 Áreas obtenidas a partir del ICT con el método de la interpolación del Vecino Natural.

<b>INTERPOLACION DEL VECINO NATURAL</b>	
AREA	258,307 m <sup>2</sup>
VOLUMEN	1,589,374 m <sup>3</sup>

Para este caso específico se tomó el área de contaminación de 240,789 m<sup>2</sup> obtenida por el método de polígonos de Thiessen.

**CAPITULO 6**  
**RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN**

## **6.1 ESTIMACIÓN DEL ICT**

Se determinó la distribución de la contaminación por hidrocarburos, mediante el índice de contaminación total (ICT), como se indicó anteriormente en el capítulo 3 para cada profundidad con apoyo del programa ArcGis, como se muestra en la figura 6.1.

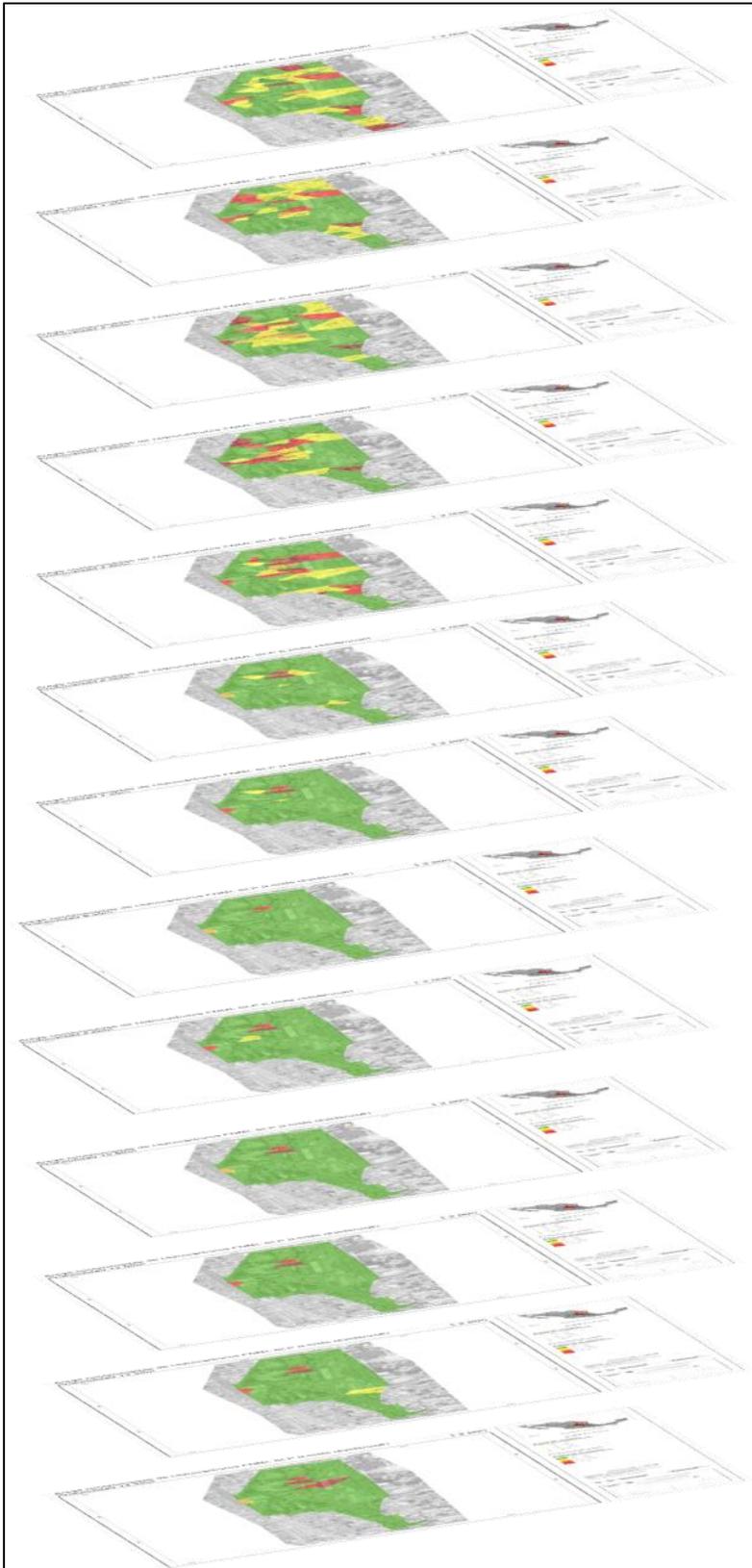


Fig.6.1 Distribución de la contaminación por medio del ICT

## 6.2 ESTIMACIÓN DE RIESGOS POR CAPA Y ZONA

Se obtuvieron los índices de peligro no cancerígeno (IP) y el índice de riesgo cancerígeno (IR) (como se explicó anteriormente en el capítulo 3), de acuerdo a los grupos poblacionales mencionados anteriormente en el capítulo 4, desde una profundidad de 0.05 m hasta 14 m de profundidad, para las tres diferentes zonas, como se puede observar en las tablas 6.1 a la tabla 6.16.

### ZONA NORTE, INDICE DE PELIGRO NO CANCERÍGENO

Tabla 6.1 Resultados de IP en la zona norte para niños de 1-6 años

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Niños de 1-6	1607
1.2		1577
2.4		1517
3.6		1436
4.8		1261
6		66
7.2		64
8.4		58
9.6		58
10.8		58
12		57
13.2		56
14		33

Tabla 6.2 Resultados de IP en la zona norte para niños de 6-12 años

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Niños de 6-12	1726
1.2		1594
2.4		1727
3.6		1806
4.8		2190
6		475
7.2		932
8.4		88
9.6		82
10.8		212
12		149
13.2		94
14		107

Tabla 6.3 Resultados de IP en la zona norte para adultos residentes

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Adulto Residente	10189
1.2		9989
2.4		9635
3.6		9150
4.8		8125
6		476
7.2		532
8.4		373
9.6		371
10.8		390
12		374
13.2		363
14		221

Tabla 6.4 Resultados de IP en la zona norte para adultos trabajadores

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Adulto Trabajador	11052
1.2		10863
2.4		10745
3.6		10563
4.8		9605
6		578
7.2		595
8.4		911
9.6		489
10.8		498
12		484
13.2		476
14		285

## ZONA CENTRO, INDICE DE PELIGRO NO CANCERÍGENO

Tabla 6.5 Resultados de IP en la zona centro para niños de 1-6 años.

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Niños de 1-6	1475
1.2		1344
2.4		1244
3.6		1212
4.8		152
6		25
7.2		25
8.4		24
9.6		24
10.8		24
12		24
13.2		21
14		16

Tabla 6.6 Resultados de IP en la zona centro para niños de 6-12 años.

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Niños de 6-12	1313
1.2		1360
2.4		1263
3.6		2150
4.8		399
6		38
7.2		47
8.4		47
9.6		79
10.8		44
12		42
13.2		56
14		154

Tabla 6.7 Resultados de IP en la zona centro para adultos residentes.

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Adulto Residente	9273
1.2		8479
2.4		7853
3.6		7783
4.8		993
6		157
7.2		159
8.4		158
9.6		163
10.8		158
12		157
13.2		137
14		120

Tabla 6.8 Resultados de IP en la zona centro para adultos trabajadores

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Adulto Trabajador	3441
1.2		2409
2.4		2262
3.6		2153
4.8		388
6		206
7.2		206
8.4		206
9.6		208
10.8		205
12		205
13.2		177
14		142

## ZONA SUR, INDICE DE PELIGRO NO CANCERÍGENO

Tabla 6.9 Resultados de IP en la zona sur para niños de 1-6 años.

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Niños de 1-6	6
1.2		6
2.4		6
3.6		6
4.8		23
6		12
7.2		12
8.4		12
9.6		11
10.8		11
12		9
13.2		6
14		3

Tabla 6.10 Resultados de IP en la zona sur para niños de 6-12 años.

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Niños de 6-12	736
1.2		135
2.4		213
3.6		273
4.8		1347
6		140
7.2		36
8.4		56
9.6		40
10.8		37
12		44
13.2		29
14		41

Tabla 6.11 Resultados de IP en la zona sur para adultos residentes

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Adulto Residente	255
1.2		167
2.4		178
3.6		180
4.8		337
6		92
7.2		77
8.4		80
9.6		77
10.8		76
12		61
13.2		38
14		27

Tabla 6.12 Resultados de IP en la zona sur para adultos trabajadores

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Adulto Trabajador	161
1.2		118
2.4		124
3.6		127
4.8		202
6		104
7.2		97
8.4		98
9.6		97
10.8		96
12		75
13.2		47
14		30

Tabla 6.13 Resultados de IP en la zona sur para adultos trabajadores de la remediación

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IP
0.05	Trabajador de la remediación	1651
1.2		1055
2.4		1051
3.6		1025
4.8		1008
6		5
7.2		3
8.4		3
9.6		1
10.8		3
12		3
13.2		2
14		1

### ZONA NORTE, INDICE DE RIESO CANCERÍGENO (BENCENO)

Tabla 6.12 Resultados de IR en la zona norte para niños de 1-6 años

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IR
0.05	Niños de 1-6	8.7E-07
1.2		8.7E-07
2.4		8.7E-07
3.6		8.7E-07
4.8		8.1E-07
6		9.7E-08
7.2		8.1E-08
8.4		3.5E-08
9.6		3.5E-08
10.8		1.3E-06
12		2.9E-08
13.2		2.2E-09
14		1.1E-09

Tabla 6.13 Resultados de IR en la zona norte para niños de 6-12 años

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IR
0.05	Niños de 6-12	4.7E-07
1.2		4.7E-07
2.4		4.7E-07
3.6		5.4E-07
4.8		1.4E-06
6		3.4E-07
7.2		1.2E-06
8.4		7.8E-09
9.6		7.7E-09
10.8		2.1E-07
12		1.4E-09
13.2		1.4E-09
14		7.7E-10

Tabla 6.14 Resultados de IR en la zona norte para adulto residente

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IR
0.05	Adulto Residente	5.4E-06
1.2		5.4E-06
2.4		5.4E-06
3.6		5.4E-06
4.8		5.2E-06
6		6.5E-07
7.2		6.8E-07
8.4		8.8E-08
9.6		8.8E-08
10.8		1.2E-07
12		1.4E-08
13.2		1.4E-08
14		6.8E-09

Tabla 6.15 Resultados de IR en la zona norte para adulto trabajador

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IR
0.05	Adulto Trabajador	7.3E-06
1.2		7.3E-06
2.4		7.3E-06
3.6		7.3E-06
4.8		6.9E-06
6		8.4E-07
7.2		7.6E-07
8.4		1.2E-07
9.6		1.2E-07
10.8		1.3E-07
12		1.8E-08
13.2		1.8E-08
14		9.1E-09

Tabla 6.16 Resultados de IR en la zona norte para adulto residente

PROF(m)	GRUPO POBLACIONAL	IR
0.05	Adulto Residente	5.4E-06
1.2		5.4E-06
2.4		5.4E-06
3.6		5.4E-06
4.8		5.2E-06
6		6.5E-07
7.2		6.8E-07
8.4		8.8E-08
9.6		8.8E-08
10.8		1.2E-07
12		1.4E-08
13.2		1.4E-08
14		6.8E-09

### ZONA CENTRO Y SUR, INDICE DE RIESO CANCERÍGENO (BENCENO)

Para la zona centro y sur se encontraron valores menores a cero al igual que para la zona norte para todos los grupos poblacionales. (ANEXO 6)

### 6.3 DISTRIBUCIÓN DEL RIESGO NO CANCERIGENO

Para tener un mejor entendimiento se elaboraron mapas para la distribución del riesgo no cancerígeno para la población de 6 a 12 años (figura 6.2) y para los trabajadores de la remediación (figura 6.3), ya que estos grupos poblacionales son los que por los resultados fueron los más críticos en cuestión de edad y el contacto con el sitio.

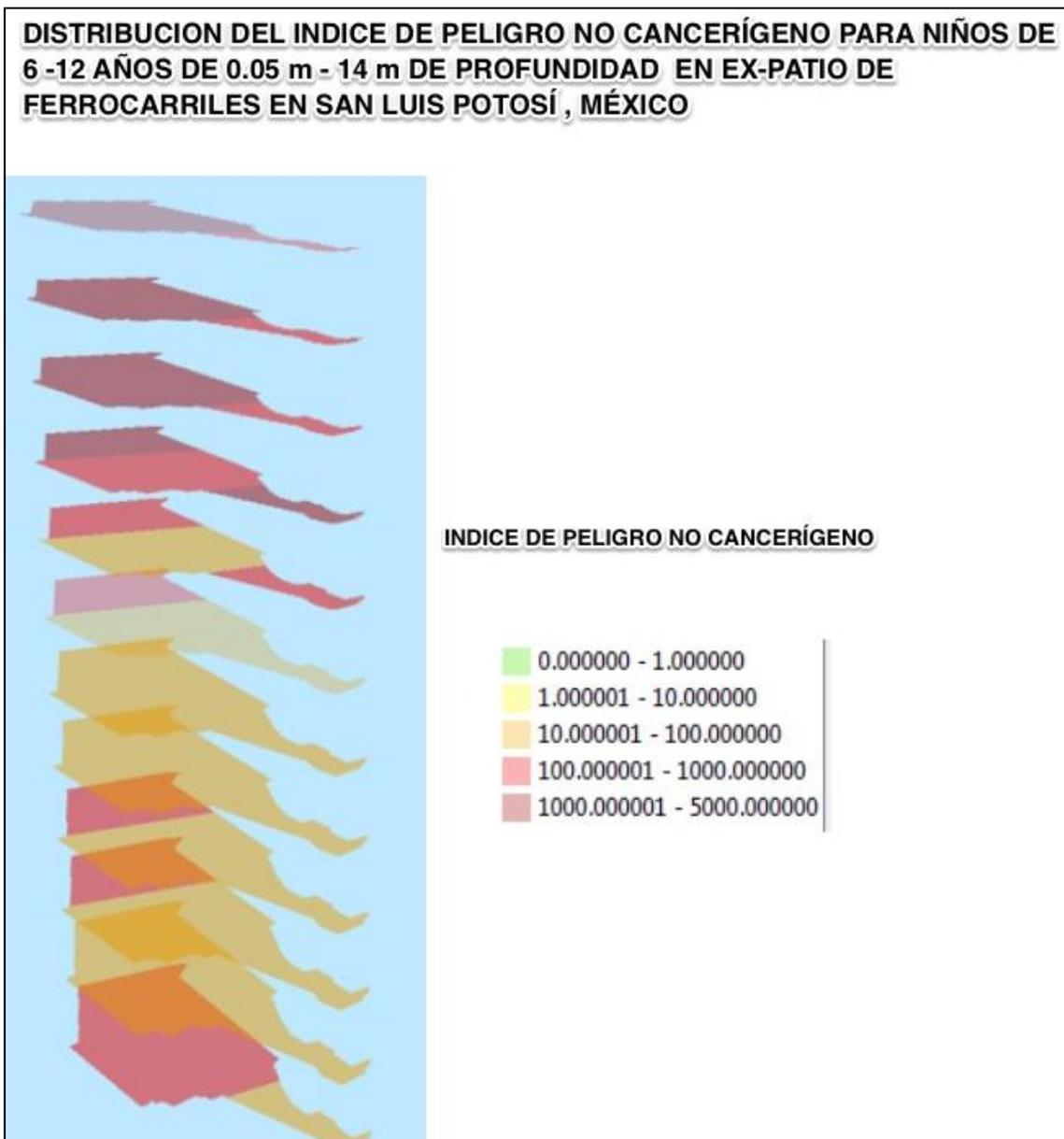


Fig.6.2 Distribución del Índice de Peligro no Cancerígeno para niños de 6-12 años elaborado en ArcGis

**DISTRIBUCION DEL INDICE DE PELIGRO NO CANCERIGENO PARA TRABAJADORES DE LA REMEDIACION DE 0.05m- 14m DE PROFUNDIDAD EN EX-PATIO DE FERROCARRILES EN SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO**

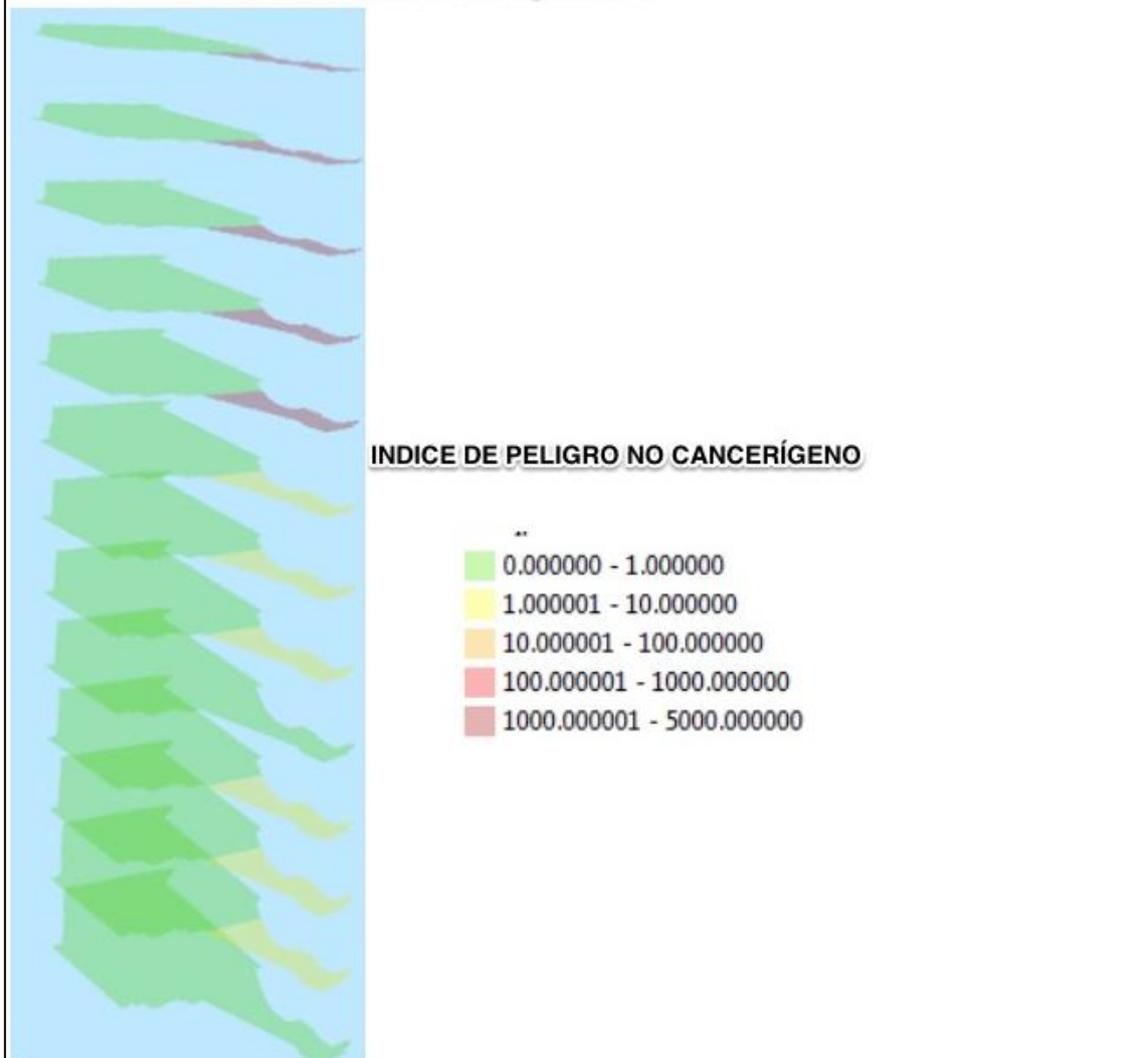


Fig.6.3 Distribución del Índice de Peligro no Cancerígeno para trabajadores de la remediación elaborado en ArcGis

A partir de los resultados obtenidos en el Ex Patio de Ferrocarriles de San Luis Potosí se determina que el riesgo por Hidrocarburos presentes en este sitio no es aceptable, esto de acuerdo con el método propuesto por la EPA el cual menciona que si el Índice de peligro no cancerígeno (IP) >1 el riesgo se considera como no aceptable para ningún grupo poblacional.

Esto aunado a que para la zona norte y centro se obtuvieron valores de IP del orden de 1000, lo que nos muestra que las dosis de exposición rebasan 1000 veces las dosis de referencia.

Además que al observar su distribución espacial se puede observar que casi a todas las profundidades del predio se muestran en color rojo, por lo que se presenta un resultado alarmante que afecta a los niños de 6 a 12 años, y a su

vez se puede ver que en la zona sur en su mayoría está de color naranja lo que nos dice que los valores de IP son del orden de 10.

Para los trabajadores de la remediación en la zona sur se obtuvieron valores de  $IP > 1000$  de 0.05m a 4.8m de profundidad y de 4.8m a 12 m no habría riesgo alguno.

Por otro lado se determina que el riesgo por Benceno presente en este sitio es aceptable, esto de acuerdo con el método propuesto por la EPA el cual indica que si el Índice de Riesgo Cancerígeno (IR)  $< 0$  el riesgo se considera como aceptable, por lo cual no hubo necesidad de obtener su distribución espacial.

Cabe mencionar que en el capítulo 3 se muestran cálculos base y más representativos de la evaluación de riesgo, esto por cuestión de espacio, por lo que el resto de los cálculos se encuentran en el ANEXO5.

Así como las Bases de datos (ANEXO1), mapas del índice de contaminación total (ANEXO2), mapas de estimación de volumen y área contaminada (ANEXO3), tabla de concentraciones obtenidas de PROUCL (ANEXO4) y el índice de riesgo cancerígeno por benceno para la zona centro y sur (ANEXO 6).

Todos estos ANEXOS se encuentran en el disco adjunto a este trabajo.

## **CAPITULO 7**

### **CONCLUSIONES**

Inicialmente se recopiló la información (en la Dirección de Restauración de Sitios Contaminados de SEMARNAT) del Ex patio de Ferrocarriles en San Luis Potosí, encontrándose que hay información suficiente de acuerdo con la caracterización de este sitio, ya que tiene muchos años en esas condiciones por lo que algunos datos correspondientes a la clasificación del suelo fueron complicados encontrar, por lo mismo se tomaron de forma teórica de libros al observar las fotografías tomadas en visitas hechas por personal de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y comparando con algunos estudios geofísicos que se realizaron en el sitio.

También al hacer la revisión de la información se pudo intuir que hay otros sitios que se encuentran en las mismas condiciones o más contaminadas lo que da una idea de cómo se encuentra el país en el materia de contaminación de suelos

Así mismo se estimó el Índice de Contaminación Total sistematizando la información en una base de datos y una tabla de Excel con la cual se calcularon los riesgos ambientales y a la salud humana por zona y capa del suelo en el sitio y se puede comentar que con el ICT plasmado en mapas elaborados con ArcGis es más fácil estimar o predecir cómo se encuentra distribuida la contaminación en el sitio así como el posible movimiento que puede llegar a tener el contaminante a través del suelo y definir hasta donde podría llegar y a que grupos poblacionales afectar, sistematizando la información con las ecuaciones alométricas para el cálculo del riesgo, se vio que aunque fue un trabajo complicado, ahora utilizando las hojas de cálculo se pueden obtener futuros Índices de Riesgos para otras zonas o probar distintos escenarios para lograr costos más bajos para la remediación o características solo ingresando pocas variables.

Por otro lado se elaboró el modelo conceptual del sitio para la estimación de las rutas y vías de exposición actual y futura en el sitio, estableciendo los escenarios probables de uso que servirá de base para la evaluación de riesgos ambientales y a la salud humana, hallándose que al no encontrar cuerpos superficiales cercanos ni pozos para el suministro de agua potable pudo ser acertado el tomar el suelo como el único medio de transporte para determinar las rutas y vías de exposición.

Finalmente se realizó la evaluación de riesgo ambiental y a la salud humana con un nuevo enfoque así como su distribución espacial con base en la contaminación existente en un sitio de estudio y se encontró que al dividir el sitio en tres zonas éste se puede asociar a cada capa y zona de suelo contaminado, lo que en el método tradicional sería solamente para una sola zona y tomando en cuenta que los diferentes tipos de contaminantes se encuentran distribuidos en toda el área, por lo tanto obteniendo el riesgo con este enfoque también se puede obtener una representación gráfica del impacto

con la distribución, y con esto no se sobreestimaría el riesgo al tomar en cuenta una sola área, además de que es posible enfocarnos en el área de mayor riesgo así como encontrar áreas libres del mismo y enfocarse en las más críticas reduciendo costos, así mismo permite enseñar la problemática del sitio a las autoridades y tomadores de decisiones de una manera más comprensiva.

**CAPITULO 8**  
**REFERENCIAS CONSULTADAS**

- Atmospheric, U. C. (2010). *Comprensión del Ciclo Hidrológico*. USA: THE COMET PROGRAM.
- BANDAS. (2012). BANCO NACIONAL DE AGUAS SUPERFICIALES. México: Comisión Nacional del Agua CONAGUA.
- Cisneros, R. (2015). *APUNTES DE LA MATERIA DE RIEGO Y DRENAJE*. San Luis Potosí: CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO, ÁREA AGROGEOESTADÍSTICA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ.
- CLICOM. (2011). BASE DE DATOS CLIMATOLÓGICA NACIONAL. *CLimate COMputing proyect CLICOM*. México: CICESE.
- COLPOS, A. (2015). *Estudio Ambiental para la Categorización de un Sitio Contaminado en San Luis Potosí*. San Luis Potosí: No Publicado.
- COLPOS, B. (2015). *Estudio Ambiental para la Categorización de un Sitio Contaminado en San Luis Potosí*. San Luis Potosí: No Publicado.
- COLPOS, C. (2015). *Estudio Ambiental para la Categorización de un Sitio Contaminado en San Luis Potosí*. San Luis Potosí: No Publicado.
- COLPOS, D. (2015). *Estudio Ambiental para la Categorización de un Sitio Contaminado en San Luis Potosí*. San Luis Potosí: No Publicado.
- COLPOS, E. (2015). *Estudio Ambiental para la Categorización de un Sitio Contaminado en San Luis Potosí*. San Luis Potosí: No Publicado.
- COLPOS, F. (2015). *Estudio Ambiental para la Categorización de un Sitio Contaminado en San Luis Potosí*. San Luis Potosí: No Publicado.
- COLPOS, G. (2015). *Estudio Ambiental para la Categorización de un Sitio Contaminado en San Luis Potosí*. San Luis Potosí: No Publicado.
- CONABIO. (2015). COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO Y CONOCIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD. *CONABIO*. México: CONABIO.
- Cortina, C. (2013). *La Evolución de la Legislación de los Sitios Contaminados en México Tras Veinte Años de Gestión*. Ciudad de México.
- E.H. Pechan & Associates, I. (1997). *USER'S GUIDE FOR THE JOHNSON AND ETTINGER (1991) MODEL FOR SUBSURFACE VAPOR INTRUSION INTO BUILDINGS*. USA: Environmental Quality Management, Inc.
- Group, A. S. (2006). *Hydrocarbon Characterization for Use in the Hydrocarbon Risk Calculator and Example Characterization of Selected Alaskan Fuels, Technical Background Document and Recomendatios*. USA: Alaska Statement of Cooperation Working Group.
- República, G. d. (2015). ATLAS NACIONAL DE RIESGO. México: CENAPRED.

República, G. d. (2012). LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE. México: Diario Oficial de la Federación.

República, G. d. (2012). LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. México: Diario Oficial de la Federación.

República, G. d. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012. *Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo e la caracterización y especificaciones para la remediación*. México: Diario Oficial de la Federación.

Ruíz, U. (2006). *Guía Técnica para orientar la Elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgo Ambiental de Sitios Contaminados*. Ciudad de México: SEMARNAT.

SMN. (2015). SISTEMA METEOROLÓGICO NACIONAL. México.

USEPA. (2002). *Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume 1: Human Health Evaluation Manual*. USA: US-EPA.

USEPA2, U. (2002). *SUPPLEMENTAL GUIDANCE FOR DEVELOPING SOIL SCREENING LEVELS FOR SUPERFUND SITES*. USA: US-EPA.

USEPA3. (2007). *Assessment of Exposure to Particulate Emissions (Cowherd, et, al, 1985)*. USA: USEPA.

Weiner, E. R. (2013). *Applications of Environmental Aquatic Chemistry; A practical guide*. USA: US-EPA.