

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**“Riesgo ambiental por contaminantes criterio
y contaminantes peligrosos en dos sitios de
la Ciudad de México”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A

ERIKA VILLARÓN CALDERÓN

MÉXICO, D.F.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente	Prof. Rodolfo Torres Barrera
Vocal	Prof. Humberto Rangel Dávalos
Secretario	Prof. José Agustín García Reynoso
1 er. Suplente	Prof. Víctor Manuel Luna Pabello
2º. Suplente	Prof. Alfonso Duran Moreno.

Sitio donde se desarrolló el tema:

CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA

Asesor del tema:

Dr. José Agustín García Reynoso

Sustentante:

Erika Villarón Calderón

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Facultad de Química

Al Centro de Ciencias de la Atmósfera por el apoyo recibido para este trabajo.

Al Dr. José Agustín García Reynoso por la orientación, apoyo, paciencia en el desarrollo de este trabajo y por su amistad, gracias.

SALMO 23

**JEHOVÁ ES MI PASTOR,
NADA ME FALTARA
EN LUGARES DE DELICADOS PASTOS ME HARÁ DESCANSAR;
JUNTO A AGUAS DE REPOSO ME PASTOREARÁ
CONFORTARA MI ALMA; ME GUIARA POR SENDAS DE JUSTICIA
POR AMOR DE SU NOMBRE.
AUNQUE ANDE EN VALLE DE SOMBRA DE MUERTE,
NO TEMERÉ MAL ALGUNO, PORQUE TU ESTARÁS CONMIGO;
TU VARA Y TU CAYADO ME INFUNDIRÁN ALIENTO.
ADEREZAS MESA DELANTE DE MI EN PRESENCIA DE MIS
ANGUSTIADORES; UNGES MI CABEZA CON ACEITE; MI COPA
ESTA REBOSANDO.
CIERTAMENTE EL BIEN Y LA MISERICORDIA ME SEGUIRÁN
TODOS LOS DÍAS DE MI VIDA, Y EN LA CASA DE JEHOVÁ
MORARE POR LARGOS DÍAS.**

Salmo de David

**GRACIAS A LA VIDA QUE ME HA DADO TANTO
ME DIO EL CORAZÓN QUE AGITA SU MARCO
CUANDO MIRO EL FRUTO DEL CEREBRO HUMANO
CUANDO MIRO EL BUENO TAN LEJOS DEL MALO
CUANDO MIRO EL FONDO DE TUS OJOS CLAROS**

Autor: Violeta Parra

DEDICATORIAS

A Dios: por estar conmigo en todos los momentos difíciles, por las alegrías que me has regalado, gracias.

A mi madre: Isabel Calderón Pantoja: Eres la mujer que ha estado a mi lado todos los días de mi vida dándome su confianza y amor, te amo.

A Arturo Alejandro Mendoza: por todo lo que representas en mi vida, gracias por todo Ale eres el tesoro más grande.

A Arturo Mendoza Álvarez: Eres una parte muy importante en mi vida, gracias por enseñarme el valor del conocimiento, te amo.

A Gabriela, Isela y Ricardo Villarón: Porque han estado conmigo, sin importar los tiempos buenos o malos y han compartido conmigo las alegrías y tristezas, gracias.

A Genoveva y Sergio Mendoza: Gracias por compartir conmigo su bondad y cariño.

A Ing. Socorro, Ing. Rivera, Ing. Daniel López, Ing. Ignacio Lara,, Sr. Ángel Pérez, Sra. Catalina Ibáñez, Dr. Ricardo Zamorano: Una parte importante en la vida de todas las personas son sus amigos y les quiero dar las gracias a todos ustedes por la amistad invaluable que me han regalado.

ÍNDICE

Contenido	Pág.
Introducción	2
Capítulo 1 Análisis de Riesgos	5
Capítulo 2 Campaña de monitoreo ambiental	13
Capítulo 3 Contaminantes atmosféricos y sus efectos	18
Capítulo 4 Metodología	32
Capítulo 5 Resultados	39
Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones	48
Bibliografía	51

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es presentar evidencia del riesgo de los principales contaminantes ambientales en la Ciudad de México.

En el siguiente trabajo se presenta una evaluación de riesgos a contaminantes criterio y peligrosos, los datos utilizados fueron obtenidos en la ciudad de México durante la campaña de monitoreo ambiental llevada a cabo del 1 al 30 de Abril de 2003 en dos zonas: La Merced y el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) en Iztapalapa, en dicha campaña fueron empleadas las técnicas espectroscópicas más modernas utilizadas para la detección de estos contaminantes atmosféricos.

En esta campaña de monitoreo ambiental fueron utilizadas dos técnicas conocidas de percepción remota in situ, la técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier FTIR, y la técnica espectroscópica de diferenciación óptica DOAS contando con un centro altamente instrumentado ubicado en el Campus Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y otro en la colonia Merced Balbuena.

La metodología empleada en la evaluación de riesgos es la propuesta por la Agencia de Calidad del Aire de California, EU (California Air Resource Board). En esta se muestran los límites normativos vigentes de los contaminantes que se emplean para hacer la evaluación de riesgo. Las métricas utilizadas para evaluar el riesgo de los tóxicos atmosféricos, para el caso de efectos no cancerígenos se usó el Índice de peligrosidad, y para el caso de efectos cancerígenos se emplearon la probabilidad de cáncer en el tiempo de vida (LCP) y la pérdida de esperanza de vida (LLE).

También se describen los efectos adversos que cada uno de los contaminantes causan a la salud y se identifica cual de las zonas estudiadas posee el mayor riesgo para la salud y el ambiente.

Los contaminantes son emitidos diariamente a la atmósfera de la ciudad de México ocasionando problemas y deterioro en la salud y el ambiente, por lo cual se requiere revisión de la legislación vigente con respecto a algunos de estos contaminantes.

En el capítulo 1 se describe el análisis de riesgos, la terminología, definiciones y el método para llevar a cabo un análisis de riesgo ambiental.

En el capítulo 2 se describe la campaña de monitoreo ambiental llevada a cabo durante el mes de abril del año 2003 en la ciudad de México, y la información de la ubicación geográfica de estos sitios.

En el capítulo 3 se definen los contaminantes criterio y contaminantes peligrosos y se describen sus efectos en la salud y el ambiente.

En el capítulo 4 se describen las técnicas espectroscópicas (FITR y DOAS) utilizadas para la obtención de los datos de concentración de los contaminantes *in situ*.

La metodología empleada para la obtención de las métricas de riesgo son:

- LCP Probabilidad de cáncer en el tiempo de vida
- LLE Perdida de esperanza de vida
- HI Índice de peligrosidad

En el capítulo 5 se muestran los resultados de la medición de los siguientes contaminantes:

- 1) El contaminante con mayor índice de peligrosidad.
- 2) El contaminante con mayor probabilidad de cáncer en el tiempo de vida.
- 3) El contaminante que tiene mayor pérdida de esperanza de vida.

En el capítulo 6 se dan las conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos de este trabajo.

Finalmente se enlista la bibliografía utilizada en el presente trabajo.

CAPITULO 1

ANALISIS DE RIESGOS

ANÁLISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgos se desarrollo en los estudios iniciales de los juegos de azar en el siglo 17 y en los inicios de la industria aseguradora. Con la formalización del análisis sistemático se llego a un análisis especializado de temas específicos como la evaluación de riesgos de desarrollos tecnológicos. Así con la creciente preocupación relacionada con los riesgos a la salud humana y el ambiente ha tomado gran importancia el análisis de riegos.

Existen varias definiciones de riesgo: Una definición de riesgo es la probabilidad de que ocurra algo con consecuencias negativas (EPA 2001). En el campo de la salud y medio ambiente, el riesgo se identifica como la probabilidad de que un individuo o una población presenten una mayor incidencia de efectos adversos por exposición a un peligro (EPA 2001).

Riesgo es la posibilidad de sufrir un daño por la exposición a un peligro y peligro es la fuente del riesgo y se refiere a una sustancia o a una acción que puede causar daño.

El riesgo esta relacionado al peligro: "Peligroso" define la capacidad de una sustancia de producir efectos adversos en los organismos, y el término "riesgo" describe la probabilidad de que, en una situación dada, una sustancia peligrosa produzca un daño.

Se dice que una persona se puso en "riesgo" cuando está "expuesta" a un "peligro" y la magnitud del riesgo es una función de la peligrosidad de la sustancia y de la magnitud de la exposición.

$$\text{RIESGO} = f(\text{EXPOSICIÓN}, \text{PELIGRO})$$

Para que exista un riesgo es necesario que se esté expuesto a una sustancia y que esta exposición represente un peligro para la salud. Se necesitan tanto el peligro como la exposición, si alguno de ellos es igual a cero entonces no hay riesgo.

Los riesgos se perciben en forma diferente, dependiendo de quiénes son los afectados, qué tan probable es que los daños se produzcan, las características de los daños, tal cómo qué tan catastróficos son, qué tan acostumbrada está la población a ese tipo de daño, qué tan grande es la fracción de la población afectada, cómo se afecta a los individuos en forma personal y si éstos han aceptado en forma voluntaria enfrentar los riesgos. Las

percepciones de los riesgos están influenciadas por los beneficios que se obtienen de enfrentar tales riesgos.

La evaluación de riesgos es una herramienta que puede usarse para estimar cuantitativamente los impactos por los daños a la salud o a los ecosistemas derivados de la exposición a un contaminante ambiental

La evaluación del riesgo es el uso de datos y observaciones científicas tales como la toxicología, la epidemiología, la ecología la química, la física, las matemáticas, la ingeniería y las ciencias ambientales. Para definir los efectos potencialmente adversos para la salud o los ecosistemas causados por la exposición de materiales o sustancias peligrosas. Este análisis consta de las siguientes etapas:

- La evaluación del riesgo a la salud o al medio ambiente en términos cuantitativos
Es el uso de los datos y las observaciones para definir los efectos causados en la salud y el medio ambiente por la exposición a sustancias o situaciones peligrosas. Y quienes se ven afectados, y el conocimiento que se tiene de ese riesgo.
- El análisis comparativo de los riesgos
El análisis comparativo de riesgos proporciona un método sistemático para abordar los problemas ambientales que pueden causar diferentes tipos y grados de riesgos a la salud. Este análisis combina información sobre la peligrosidad de los contaminantes, los niveles de exposición y las características poblacionales para predecir los efectos en la salud.
- El manejo de los riesgos
El manejo de riesgos evalúa diferentes alternativas y selecciona la acción reguladora más apropiada integrando los resultados obtenidos de la evaluación de riesgos. En esta etapa se toman las decisiones para la asignación de recursos de una forma que se optimice la protección de la salud y del medio ambiente considerando aspectos sociales, económicos y políticos.

- La comunicación de los riesgos
Trata de explicar como el público percibe los riesgos. Se identifican la manera más adecuada de mejorar la transferencia de información entre los expertos en riesgos y la población, con todos los problemas inherentes a esta comunicación.

Evaluación de riesgos se refiere a la técnica para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo.

El manejo de riesgos diseña la respuesta de control, reducción o eliminación de riesgos utilizando la información producida por la evaluación y el análisis de riesgos.

La diferencia entre evaluación y manejo de riesgos no es muy clara. La controversia se centra en el grado en el cual la evaluación se puede mantener libre de los juicios y valores que típicamente corresponden a las decisiones de manejo.

USOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

Las técnicas de análisis se pueden aplicar a un amplio rango de situaciones de riesgo para la salud y el medio ambiente: El análisis de riesgos también se puede aplicar a muy diferentes situaciones, por ejemplo, el riesgo asociado al uso de un producto farmacéutico o tratamiento médico, a la construcción de obras tales como presas y puentes etc. El análisis de riesgos sirve para:

- La introducción o el descubrimiento de una sustancia en el ambiente
- Identificar y evaluar los problemas ambientales y de salud producidos por la realización de actividades peligrosas y el manejo de sustancias tóxicas.
- La exposición ocupacional a una sustancia o radiación
- Contaminación del aire, tanto en espacios interiores como en el ambiente exterior
- Comparar tecnologías nuevas y tradicionales que se usan en la determinación de la efectividad de los diferentes controles y técnicas de mitigación diseñadas para reducir riesgos.
- Disposición de residuos peligrosos
- Presencia de sustancias peligrosas en la cadena alimentaría
- Localización de instalaciones potencialmente peligrosas.

- Selección de prioridades entre las posibles alternativas de acción para establecer secuencias de ejecución de acciones correctivas y/o de elaboración de reglamentos ambientales

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS

El análisis de riesgos utiliza herramientas de la ciencia, la ingeniería y la estadística para analizar la información relacionada con los riesgos y, para estimar y evaluar la probabilidad y magnitud del riesgo ambiental y de la salud.

El análisis de riesgos no proporciona una fórmula para tratar la problemática de riesgos. Lo que sí mejora es la capacidad de los científicos y tomadores de decisiones en la identificación, evaluación, control y reducción de riesgos asociados con actividades del hombre.

El proceso de análisis de riesgos esta formado de cuatro fases interrelacionadas, cada una con ciertos métodos y técnicas.

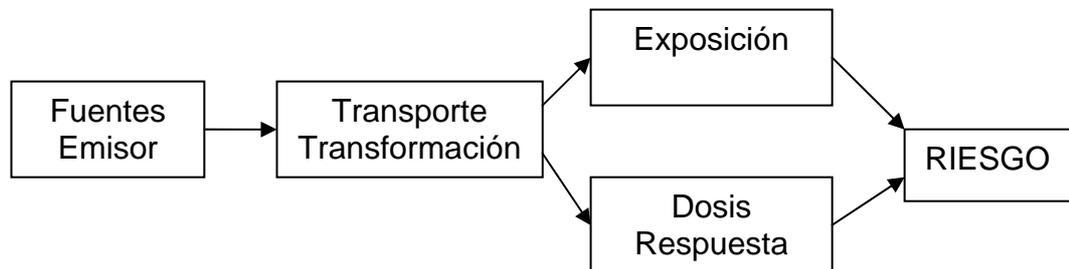


Fig. 1.1 Diagrama de bloques de proceso simplificado de evaluación de riesgos.

A) IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

Es la determinación de sí una sustancia química en particular esta casualmente ligada o no a un efecto adverso en la salud.

B) EVALUACIÓN DE LA DOSIS RESPUESTA

Es la determinación de la relación entre la magnitud de la exposición y la probabilidad de ocurrencia de un efecto a la salud. Provee datos cuantitativos de las cantidades especificas de un

agente riesgoso que podría alcanzar los órganos y tejidos de los individuos o poblaciones expuestas que podrían ser afectados o dañados y, cuando es relevante las características de dichas poblaciones.

C) EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Provee datos cuantitativos en individuos, poblaciones o ecosistemas que aun son o pueden ser expuestos a un agente de riesgo; la concentración del agente riesgoso; y la duración y otras características de la exposición, la presentación de toda esta información numérica y cualitativa acompañada de los juicios de valor sobre las suposiciones hechas en el proceso de obtenerla es lo que denominamos evaluación de la exposición. Es la información que se necesita para hacer la evaluación de riesgos.

Evaluación de la toxicidad, es la selección de los valores adecuados de los parámetros que miden la peligrosidad de las sustancias tóxicas presentes en el sitio, acompañados por la calificación de la calidad de esa información. El parámetro que se usa en evaluación de riesgos es el índice de toxicidad.

Después de que se ha recolectado la información de toxicidad para los compuestos en cuestión, el siguiente paso es identificar los índices de toxicidad que se van a usar para estimar los efectos asociados con las exposiciones específicas que se desean evaluar.

En primer lugar, basándose en la información generada sobre exposiciones, se seleccionan:

- Los Factores de Pendiente para los cancerígenos,
- Las Dosis-respuesta para no-cancerígenos y tóxicos

Se seleccionan los índices de acuerdo a las condiciones que se presentan en el sitio:

- Períodos de exposición (crónicos, subcrónicos o agudos)
- Vías de exposición (oral, inhalación y cutánea).

D) CARACTERIZACIÓN DE RIESGOS

La caracterización de los riesgos a la salud pública en un sitio contaminado consiste en determinar si es tolerable el nivel de riesgo de que se produzcan daños asociados a la exposición a los tóxicos presentes en el sitio.

Para hacer lo anterior se evalúan las exposiciones que sufren los pobladores, lo cual, consiste en:

- hacer la selección de las poblaciones que se consideran en riesgo y de los tóxicos capaces de producir esos riesgos, identificando las condiciones de exposición
- cuantificar las exposiciones que tienen lugar, estimando las dosis suministradas/ absorbidas
- calificar la calidad de los resultados del cómputo de las exposiciones

Por otro lado se evalúa la peligrosidad de los tóxicos presentes, lo cual consiste en:

- Obtener los índices de toxicidad, que estén basados en información confiable, para todos los tóxicos que se seleccionaron en la evaluación de la exposición, y sean aplicables a las condiciones presentes en el sitio
- Calificar la calidad de la información obtenida.

En la mayoría de los sitios contaminados, los individuos están expuestos a varios tóxicos al mismo tiempo y cada uno de los tóxicos puede llegar a hacer contacto con las poblaciones por más de una ruta.

Ambos conocimientos se integran para la evaluación de riesgos por exposición a sustancias tóxicas, tanto si se trata de exposiciones a una sola sustancia por una ruta, como de exposiciones múltiples.

Los riesgos asociados a la exposición de sustancias no-cancerígenas, se evalúan por separado de los riesgos por exposición a cancerígenos. Las metodologías para evaluar estos dos modos de toxicidad química son diferentes.

Para caracterizar efectos no-cancerígenos, las comparaciones se hacen entre las dosis de exposición estimadas para cada una de las sustancias y sus dosis de referencia y al cociente de estas dos cantidades (exposición /dosis de referencia), que se le conoce como Cociente de Peligro.

Los efectos cancerígenos o sea, la probabilidad de que un individuo desarrolle cáncer por exposición vitalicia a una sustancia, se estima a partir de las dosis de exposición estimadas y la información sobre la probabilidad específica de desarrollar cáncer (riesgo de cáncer por unidad de dosis o factor de pendiente), para la sustancia de interés. Al producto del valor de la exposición por el factor de pendiente se le llama: Riesgo de Cáncer.

En la actualidad no existe normatividad en México para evaluar el riesgo ambiental como el aquí descrito.

CAPITULO 2
CAMPAÑA DE MONITOREO
AMBIENTAL

CAMPAÑA DE MONITOREO AMBIENTAL

Durante la primavera del 2003 del 1 de abril al 30 de mayo un grupo multinacional de expertos guiados por Luisa Molina del (MIT) Massachussets Institute of Technology llevaron a cabo en el área metropolitana de la ciudad de México un intenso estudio de campo durante 5 semanas.

El objetivo de este estudio fue contribuir a la comprensión de la calidad del aire en las mega ciudades, llevando a cabo mediciones y estudios de monitoreo de contaminantes atmosféricos en el área metropolitana. Esta clase de estudios proporcionaría una base científica para comprender y proporcionar estrategias para el control de emisiones y reducir la exposición a contaminantes de alto riesgo a la salud en el área metropolitana y también proporcionar cierta idea de contaminación del aire en otras mega ciudades incluyendo los grandes centros urbanos en los E.U.

Este estudio fue planeado de tal manera que cubriera la estación de alta fotoquímica anual justo antes de la temporada de lluvia.

El estudio del 2003 incluyo un súper sitio altamente instrumentado en el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), el cual forma parte del Instituto Nacional de Ecología, así como también un laboratorio móvil (Aerodyne) , con esto se tomo una gran cantidad de datos meteorológicos en sitios estratégicos los cuales fueron llevados a cabo con la colaboración de un grupo de investigadores mexicanos.

La gran capacidad del sitio de investigación en Cenica se logró con instrumentación de la más alta tecnología y equipo humano tanto de E.U. como de Europa. Así el Cenica cuenta con un moderno laboratorio construido en el campus de la UAM Iztapalapa, este laboratorio cuenta con su propia estación con instrumentos para monitoreo de la calidad del aire para NO_x , CO , O_3 y SO_2 , y PM_{10} y también tiene un sistema de muestreo automatizado para análisis por cromatografía de gases y espectroscopia (FID). Adicionalmente la red de monitoreo automático RAMA mantiene dos sitios de monitoreo de calidad del aire cercanos.

Durante este estudio se instalaron en la parte superior del Cenica instrumentos para mediciones meteorológicas continuas de CO_2 , vapor

de agua y olefinas así como también mediciones periódicas de NO_x , HNO_3 , NH_3 , H_2CO , y otras trazas de gases usando sensores de alta respuesta ubicados en el laboratorio móvil.

La campaña del 2003 en la ciudad de México proporcionó una excelente oportunidad para incrementar la capacidad en investigación, educación y elaboración de políticas en los países en desarrollo y contribuir al intercambio internacional. Trabajando muy de cerca tanto estudiantes mexicanos como americanos, así como diversos colaboradores científicos que desarrollaron y utilizaron métodos avanzados para la medición de diversos contaminantes y su concentración en el ambiente, este trabajo de colaboración se ha seguido llevando a acabo durante toda la fase de análisis de datos del proyecto.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos de las mediciones y el análisis de los datos serán cruciales para proteger la salud humana y la viabilidad de los ecosistemas en la ciudad de México.

Entorno CENICA

La UAM-Iztapalapa, se encuentra en un área urbana principalmente habitacional y comercial. Se ubica sobre la calle Sur 21 que presenta flujo vehicular alto de microbuses y taxis y flujo moderado de autos particulares y camiones de carga.

A 3.81 m al suroeste de la EM se encuentra un estacionamiento con capacidad para 200 vehículos. A 10 m al norte y sur de la EM se encuentran áreas verdes (gramíneas y plantas de ornato) con cubierta vegetal todo el año y a 20 m al noroeste de la EM se encuentran las canchas deportivas (básquetbol, voleibol, fútbol).

DIRECCIÓN

Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Iztapalapa.

Calle "Sur 10" No. 230 esquina Calle "Sur 21", Colonia La Vicentina,
Delegación Iztapalapa, D.F. CP 09340

Entorno Merced

El Centro de Salud "Luis E. Ruiz" se encuentra en un área urbana, principalmente habitacional y comercial con escuelas de educación básica, canchas deportivas y parques con vegetación de temporal. Se ubica sobre la Avenida Congreso de la Unión que presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular alto de autos particulares, microbuses, autobuses, pick-up, camiones de carga, trailers y motocicletas.

A 200 m al sureste de la EM se encuentran los campos de tiro de la policía.

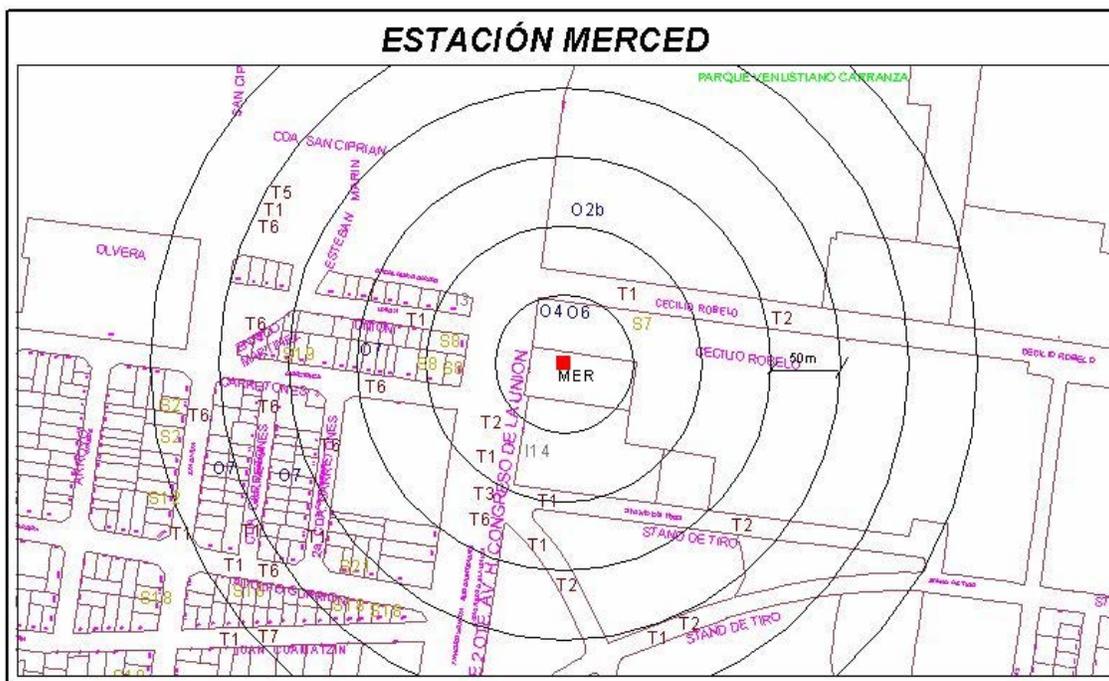


Fig. 2.2 Localización de la estación Merced. Al norte se tiene el parque Venustiano Carranza, el este el cuartel de policías, al su una escuela secundaria, al oeste la avenida congreso de la unión.

CAPITULO 3
CONTAMINANTES
ATMOSFERICOS Y SUS
EFECTOS

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SUS EFECTOS.

CONTAMINANTE PRIMARIO

Son aquellas sustancias contaminantes que son vertidas directamente a la atmósfera. Los contaminantes primarios provienen de muy diversas fuentes dando lugar a llamada contaminación convencional. Su naturaleza física y su composición química es muy variada.

CONTAMINANTE SECUNDARIO

Los contaminantes secundarios no se vierten directamente a la atmósfera desde focos emisores, sino que se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en e seno de la misma. Las principales alteraciones atmosféricas producidas por los contaminantes secundarios son:

- La contaminación fotoquímica;
- La acidificación del medio; y
- La disminución del espesor de la capa de ozono.
- Aerosoles secundarios

CONTAMINANTES CRITERIO

Se denominan contaminantes criterio del aire aquellas sustancias presentes en el aire ambiente que son abundantes, se encuentran en todas partes y para los cuales se han establecido concentraciones máximas permisibles (normas para protección de la salud) arriba de los cuales se tienen efectos nocivos a la salud reconocidos. Los contaminantes criterio actuales son el ozono, el bióxido de azufre, el monóxido de carbono, el bióxido de nitrógeno, las partículas suspendidas totales, las partículas menores a 10 micrómetros y el plomo en filtros de partículas.

CONTAMINANTES PELIGROSOS

Los contaminantes peligrosos son compuestos cancerígenos y no cancerígenos que pueden causar efectos serios e irreversibles en la salud. Las revisiones de la Ley del aire Limpio de 1990 de los Estados Unidos enumeran 189 compuestos como contaminantes peligrosos de aire, incluidos el tetracloruro de carbono, cloro, formaldehído, oxido de etileno, cadmio y manganeso. La mayoría estos contaminantes son compuestos orgánicos volátiles.

Las Normas para controlar la emisión de estos contaminantes peligrosos están basadas en la salud. En otras palabras, se establecen límites numéricos que protegen la salud del hombre de cualquier efecto adverso.

Los contaminantes que se midieron y se emplearon para el análisis de riesgo en este trabajo son:

Contaminantes Criterio

- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Ozono (O₃)
- Partículas menores a 10 micras (PM₁₀)

Contaminantes Peligrosos

- Amoniacó NH₃,
- Xileno
- Cresol
- Benzaldehído
- Mek (metil etil cetona)
- Benceno
- Tolueno
- Formaldehído

Para las partículas PM_{10} se utiliza el sistema de Atenuación de radiación beta y Balanza de Oscilación, los valores fueron obtenidos de la estación de la Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA) de la estación Merced y de CENICA.

Los datos utilizados son el resultado de la campaña de monitoreo llevada a cabo en la ciudad de México durante el año de 2003 en dos zonas (Merced y Cenica), de estos datos se seleccionaron los del mes de Abril para obtener las concentraciones mensuales y concentraciones horarias en $\mu g/m^3$ de estos contaminantes. Así mismo se calculó la probabilidad de cáncer en el tiempo y la pérdida de esperanza de vida para el benceno y el formaldehído.

CONTAMINANTES CRITERIO

- **MONÓXIDO DE CARBONO**

Las principales fuentes son la Combustión incompleta de hidrocarburos y sustancias que contienen carbono, tales como la gasolina, el diesel, etc.. Otra importante fuente de formación del monóxido de carbono son los incendios.

Gas incoloro e inodoro que se combina con la hemoglobina para formar la carboxihemoglobina y puede llegar a concentraciones letales.

Sus efectos en la salud son La carboxihemoglobina afecta al sistema nervioso central provocando cambios funcionales cardiacos y pulmonares, dolor de cabeza, fatiga, somnolencia, fallos respiratorios y hasta la muerte.

El monóxido de carbono puede causar la muerte por envenenamiento en pocos minutos porque substituye el oxígeno en los eritrocitos de la sangre. Cada año un gran número de personas pierde la vida accidentalmente debido al envenenamiento con este gas. Las mujeres embarazadas y sus bebés, los niños pequeños, las personas mayores y las que sufren de anemia problemas del corazón respiratorios pueden ser mucho más sensibles al monóxido de carbono.

- BIÓXIDO DE NITRÓGENO

EL bióxido de nitrógeno se deriva de los procesos de combustión, siendo ésta la principal fuente de su vertimiento a la atmósfera.

Es un contaminante primario y juega un doble papel en materia medio ambiental ya que se le reconoce afecto potencialmente dañino de manera directa, pero también es uno de los precursores del ozono.

La acumulación de bióxido de nitrógeno, en el cuerpo humano, constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que: inicia, activa y puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, siendo más frecuentes los casos de bronquitis crónica.

- ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

El nitrógeno forma siete diferentes óxidos, de los cuales sólo el óxido nítrico (NO) y el bióxido de nitrógeno (NO₂) se presentan como contaminantes importantes del aire. Los NO_x que se forman durante la combustión, son el producto de la oxidación de nitrógeno atmosférico, o bien de la oxidación del nitrógeno orgánico del combustible. En el primer caso, la producción de NO_x se favorece a medida que aumenta la temperatura y, resultado de esta dependencia, la producción de NO y NO₂ es función también de la relación aire/combustible en la mezcla. El bióxido puede formar ácido nítrico y ácido nitroso en presencia de agua. Ambos pueden precipitarse junto con la lluvia o combinarse con el amoníaco de la atmósfera para formar nitrato de amonio.

El óxido nítrico al igual que el monóxido de carbono, puede combinarse con la hemoglobina de la sangre reduciendo su capacidad de transporte de oxígeno. El bióxido de nitrógeno irrita los alvéolos pulmonares. Estudios de salud ocupacional muestran que este gas puede ser fatal en concentraciones elevadas. En contraste con el ozono, el NO₂ puede ser más abundante en interiores que en el exterior, esto se debe a que una fuente de este contaminante son las estufas de gas L.P. y los quemadores o calderas industriales que utilizan el mismo combustible.

Los óxidos de nitrógeno generan, junto con los hidrocarburos, contaminantes de tipo secundario, la llamada contaminación fotoquímica, cuyo principal componente es el ozono (O₃). Los óxidos

de nitrógeno son producidos principalmente por los transportes y por el consumo de combustibles en la industria y en la generación de energía.

- BIÓXIDO DE AZUFRE

El bióxido de azufre se genera tanto de fuentes naturales como de combustión de compuestos ricos en azufre. Es hidrosoluble y al hidrolizarse da lugar a ácidos lo que le confiere sus características potencialmente agresoras.

Se asocia con la humedad de las mucosas conjuntival y respiratoria; constituye un riesgo en la producción de irritación e inflamación aguda o crónica; suele asociarse también con las partículas suspendidas

- OZONO

Este es un contaminante fuerte que afecta al sistema respiratorio y causa daños al tejido pulmonar. Entre los efectos más agudos esta la tos y el dolor de pecho, irritación de ojos, dolor de cabeza, pérdida de funciones pulmonares y ataques de asma. Ambientes elevados de ozono han sido ligados al incremento en los niveles de visitas de emergencia a hospitales por asma o enfermedades respiratorias. Se indica que los primeros efectos sobre el hombre aparecen cuando su concentración alcanza alrededor de 100 ppb.

El ozono es el principal oxidante fotoquímico presente en la atmósfera, además del nitrato de peroxiacetilo, los alquil nitratos y otros compuestos más. En la naturaleza el ozono forma parte integrante de la composición química de la estratosfera, cumpliendo con la importante función de proteger a la superficie de la tierra de los rayos ultravioleta provenientes de la radiación solar. Sin embargo la presencia del ozono en la capa baja de la atmósfera (llamada troposfera), donde se desarrolla la vida de la mayoría de los organismos se debe a la transformación que sufren los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno por medio de reacciones fotoquímicas.

A pesar de que el O₃ es un contaminante muy inestable, que se destruye con la misma facilidad con la que se forma, por breve que sea su permanencia, se ha demostrado que es un agente irritante para el sistema respiratorio, que produce tos, flema, dolor al respirar e

inflamación en el tejido pulmonar, reduciendo la capacidad de respuesta del mismo a agentes extraños. Además, reduce la capacidad respiratoria, disminuye también la capacidad mucociliar, lo que debilita las defensas naturales del aparato respiratorio. Por otra parte, se ha demostrado que las enfermedades respiratorias son más frecuentes en niños expuestos al ozono. Asimismo, se ha observado que durante episodios de contingencia ambiental con altas concentraciones de ozono, existe un incremento notable en el ausentismo escolar en niños a nivel preescolar y primaria.

Se considera que en personas saludables el ozono también causa problemas, pues hace que la respiración sea más difícil durante el trabajo y el ejercicio y causa irritación respiratoria general. Además puede marcar con una cicatriz los pulmones y causarles daño permanente. Se piensa que los síntomas de irritación tienden a desaparecer cuando se presentan exposiciones repetitivas al ozono. Sin embargo esta "atenuación de la respuesta" no es algo positivo, ya que el hecho de que no haya reacciones obvias a la exposición, no significa que el cuerpo se ha adaptado al mismo. Existen evidencias que muestran que la lesión pulmonar continúa aun durante la atenuación.

Un problema importante en la contaminación por ozono es el hecho de que los pulmones no terminan su desarrollo sino hasta que el individuo ha cumplido 18 años. Por consiguiente, los pulmones aún no desarrollados sufren un daño temprano que puede aumentar el riesgo de contraer una enfermedad respiratoria en la vida adulta así como mortalidad prematura.

PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES

- PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRAS

Algunas de las acciones que dan origen a la contaminación por partículas son la destrucción de la vegetación, que a su vez causa la erosión del suelo; los incendios; algunos procesos industriales que generan gran cantidad de polvos; y actividades humanas que requieren la quema de combustibles como carbón, leña y derivados del petróleo. La inadecuada disposición de la basura y el fecalismo al

aire libre también son emisores importantes de microorganismos, quistes, esporas, polen, etc., que pueden estar adheridos al polvo. Tomando en cuenta lo anterior, es necesario atacar estos problemas directamente para disminuir la contaminación por partículas suspendidas.

Dependiendo de su tamaño, las partículas pueden flotar o sedimentar. Las partículas que se mantienen flotando se conocen como partículas suspendidas totales o PST. Las partículas cuyo diámetro es menor o igual a 10 μm se conocen como partículas de fracción inhalable o PM_{10} , las cuales pueden estar formadas por aerosoles, polvos, metales, productos de combustión, o bien microorganismos como protozoarios, bacterias, virus, hongos y polen que pueden causar diferentes tipos de enfermedades. Cuando las partículas son inhaladas no siempre son expulsadas por los sistemas de defensa del organismo, causando problemas en el sistema respiratorio.

La contaminación por partículas puede causar, a corto y a largo plazo, disminución de la función pulmonar, lo cual contribuye a la presencia de enfermedades crónicas respiratorias y a la muerte prematura.

La exposición a PM_{10} ha generado una gran preocupación en los últimos años, ya que con mayor frecuencia aparecen estudios que demuestran una asociación significativa entre la concentración ambiental de partículas de la fracción respirable y la mortalidad y morbilidad de la población. En forma consistente a través de muchos estudios se ha encontrado un 3% de incremento en la mortalidad normal diaria por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} a partir del valor de la norma. Siendo la asociación más significativa con cánceres cardiopulmonares y de pulmón. Es de especial preocupación el hecho de que parece no existir una concentración mínima en la cual ya no se detecten impactos en la salud.

CONTAMINANTES PELIGROSOS

- **FORMALDEHÍDO**

El formaldehído es emitido en forma directa a la atmósfera y también es producto de la degradación fotoquímica de hidrocarburos, lo que significa que el formaldehído es tanto un contaminante primario como secundario, contribuyendo a la formación del ozono. En localidades

rurales la mayor fuente de emisión proviene de la oxidación de hidrocarburos, pero en las ciudades la emisión de automóviles representa la principal fuente de este compuesto. La emisión interior de este compuesto esta constituida principalmente por los productos del cigarro y el tabaco, muebles barnizados con resinas ricas en formaldehído, materiales de construcción, adhesivos, asfalto, pinturas, desinfectantes, gas LP, etc.

El formaldehído puede ser emitido por vehículos automotores o ser producido por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Las emisiones de formaldehído de origen vehicular se incrementan con el uso de gasolinas oxigenadas.

Está bien documentado el hecho de que el formaldehído ocasiona irritación ocular y nasal, irritación de las membranas mucosas, tos, náusea y alteraciones en la respiración. El formaldehído ha sido asociado con cáncer nasal y nasofaríngeo, principalmente en ambientes ocupacionales. La exposición al formaldehído debe reducirse no sólo por su probable efecto carcinógeno, sino también por su potencial para causar daño tisular. Algunos estudios epidemiológicos recientes sobre el formaldehído sugieren que el umbral para daño tisular es $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$; sin embargo, es muy difícil hacer una evaluación de riesgo formal del efecto como carcinógeno debido al limitado número de datos disponibles actualmente.

- BENCENO

El benceno es un compuesto clasificado por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer como carcinógeno del Grupo 1, lo que significa que existe suficiente evidencia científica para probar una relación positiva entre la exposición al compuesto tóxico y el desarrollo del cáncer. Más específicamente, se ha encontrado que los trabajadores expuestos al benceno tienen una mayor probabilidad de desarrollar leucemia aguda que la población en general. Así mismo, se sabe que el benceno tiene efectos hematológicos, inmunológicos sobre el sistema nervioso central.

En estudios de exposición ambiental realizados en Los Ángeles, se encontró que la principal fuente de exposición al benceno es el cigarro (39%) y la principal fuente de benceno en la atmósfera son las emisiones de los vehículos automotores (82%), así como las pérdidas

evaporativas de hidrocarburos durante el manejo, distribución, almacenamiento y abastecimiento de gasolina. Es necesario establecer estaciones de medición y realizar estudios de exposición para poder llevar a cabo un análisis de riesgo que indique el porcentaje de la población que se encuentra expuesta a niveles de concentración altos de este hidrocarburo. Así mismo, es necesario instalar sistemas de recuperación de vapores para evitar estas emisiones.

- XILENO

Hay tres formas de xileno en las que la posición de los grupos metilos en el anillo de benceno varía: meta-xileno, orto-xileno y para-xileno. Estas formas se conocen como isómeros. El xileno es un líquido incoloro de olor dulce que se inflama fácilmente.

La exposición a altos niveles de xileno durante períodos breves o prolongados puede producir dolores de cabeza, falta de coordinación muscular, mareo, confusión y alteraciones del equilibrio. La exposición breve a altos niveles de xileno también puede causar irritación de la piel, los ojos, la nariz y la garganta; dificultad para respirar; problemas pulmonares, retardo del tiempo de reacción a estímulos; dificultades de la memoria; malestar estomacal; y posiblemente alteraciones del hígado y los riñones. Niveles de xileno muy altos pueden causar pérdida del conocimiento y aún la muerte.

- CRESOL

El cresol es un líquido incoloro de olor característico, el ambiente contiene bajos niveles de cresol provenientes principalmente de los escapes de los automóviles, termoeléctricas y refinerías. La exposición por inhalación del cresol produce irritación en el tracto respiratorio, tos, dolor de cabeza, dificultad respiratoria y náuseas.

La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión.

Efectos de exposición de corta duración: La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La exposición puede producir pérdida del conocimiento. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.

Efectos de la exposición prolongada o repetida: El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Los pulmones pueden ser afectados por la exposición prolongada o repetida al vapor. La sustancia puede tener efectos sobre el hígado, los riñones y el sistema nervioso central.

- BENZALDEHIDO

Estado Físico; Aspecto: Líquido entre incoloro y amarillo viscoso, de olor característico.

Peligros químicos: La sustancia puede formar peróxidos explosivos en condiciones especiales. Reacciona violentamente con oxidantes, aluminio, hierro, bases y fenol, originando peligro de incendio y explosión. Puede autoignitar si es absorbido mediante un material combustible con una amplia superficie.

Limites de exposición: valor umbral no establecido.

Vías de exposición: La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.

Riesgo de inhalación: No puede indicarse la velocidad a la que se alcanza una concentración nociva en el aire por evaporación de esta sustancia a 20°C.

Efectos de exposición de corta duración: La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La exposición puede causar disminución de la conciencia.

Efectos de exposición prolongada o repetida: El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel. Se han detectado tumores en experimentación animal, pero este resultado puede ser no extrapolable al hombre.

- METIL ETIL CETONA (MEK)

Toxicidad: Respirar pequeñas cantidades de metil etil cetona (MEK) durante periodos cortos de tiempo puede provocar efectos adversos

en el sistema nervioso central que van desde dolor de cabeza, vértigos, náuseas y entumecimiento en los dedos de las manos y los pies hasta la inconciencia. Sus vapores son irritantes para la piel, ojos, nariz y garganta y pueden provocar daños a los ojos. La exposición repetida a cantidades moderadas a altas puede provocar efectos adversos en el hígado y el riñón.

Carcinogenicidad: No se ha llegado a un acuerdo sobre la carcinogenicidad del MEK. Ciertas fuentes creen que MEK es un posible carcinógeno en humanos en base a evidencia limitada en animales. Otras fuentes creen que existe poca evidencia para cualquier declaración sobre la posible carcinogenicidad.

Destino Ambiental: La mayor parte del MEK liberado al medio ambiente terminará en la atmósfera. El MEK puede contribuir a la formación de contaminantes en el aire en la atmósfera inferior. Puede ser degradado por los microorganismos que viven en el agua y en el suelo.

La Norma Oficial Mexicana NOM-002SCT2/1994 enlista la metil etil cetona como sustancia peligrosa clase 3, Numero UN 1193.

- TOLUENO

El tolueno es un líquido incoloro con un característico olor aromático. Es menos denso que el agua, inmisible en ella y sus vapores son más densos que el aire.

Seres humanos/mamíferos: La inhalación de 100ppm de tolueno produce dolores de cabeza, mareos, irritación de ojos y nariz. Las exposiciones más prolongadas afectan al sistema nervioso central y producen alteraciones del cuadro hemático y otros efectos crónicos. Se han registrado daños cromosómicos en ratas. El control de trabajadores expuestos al tolueno ha arrojado resultados contradictorios. No se conocen propiedades carcinógenas del tolueno mismo pero otros componentes en una mezcla de solventes pueden tenerlas. En ratas y ratones se constataron anomalías del esqueleto y menor peso fetal así como también aumento de la mortalidad embrional en los ratones.

Aire: La mayor parte del tolueno que se libera al medio ambiente va a la atmósfera, debido a su elevada presión de vapor. La degradación es bastante eficiente, de manera que muy poca cantidad de esta sustancia vuelve al suelo por deposición seca o mojada

Los vapores de tolueno son peligrosos, especialmente en áreas confinadas como sótanos o redes cloacales donde alcanzan el límite de explosividad. Una acumulación en la cadena alimentaría es improbable. El grado de toxicidad para los organismos acuáticos es moderado. Los síntomas de intoxicación son: inhibición del crecimiento y bajos índices de reproducción. Los derrames de tolueno pueden contaminar las aguas subterráneas

- AMONIACO

El amoníaco es un gas incoloro con olor característico, muy soluble en agua. Sus disoluciones acuosas son alcalinas y tienen un efecto corrosivo frente a metales y tejidos. A pesar de ser clasificado como un gas no inflamable, el amoníaco, puede arder bajo ciertas concentraciones en fase vapor y el riesgo de fuego aumenta en presencia de materiales combustibles.

Riesgos a la salud:

Este producto es especialmente irritante y corrosivo, de aquí su peligrosidad.

Inhalación: Irrita y quema el tracto respiratorio produciendo laringitis, dificultad para respirar, tos y dolor de pecho.

En casos graves, produce edema pulmonar y neumonía, inclusive, puede ser fatal. En casos extremos de exposición a concentraciones altas, se presentan da os severos a los pulmones y efectos cardiovasculares secundarios que provocan convulsiones, coma y finalmente la muerte.

Los principales efectos se detectan en el tracto respiratorio superior, debido a su gran solubilidad en los fluidos acuosos y por lo general son reversibles, sin embargo se ha informado de casos de bronquitis crónica provocada por este producto.

Se ha informado que a concentraciones de 280 mg/m^3 , se produce irritación de la tráquea inmediatamente; a $1,200 \text{ mg/m}^3$, se produce tos; a $1,700 \text{ mg/m}^3$ existe el riesgo de muerte y a una concentración entre $3,500$ y $7,000 \text{ mg/m}^3$, la muerte es inminente.

Contacto con ojos: Los irrita, tanto en forma gaseosa, como en disolución, provocando dolor, conjuntivitis, lagrimeo e incluso erosión de la córnea, lo que puede generar pérdida de la vista, pues penetra rápidamente en este. Esta irritación se presenta a concentraciones mayores de 20 mg/m^3 y generalmente es reversible.

Contacto con la piel: Causa quemaduras y dolor y el contacto

Ingestión: Por ser cáustico, tiene un efecto destructivo de los tejidos, produciendo náusea, vómito y quemaduras en la boca, esófago, estómago e intestino delgado.

Por otra parte, en experimentos con conejillos de Indias, se encontró que la administración de sales de amonio en disolución provocó la muerte de todos los animales por edema pulmonar. El envenenamiento por sales de amonio provoca disfunción pulmonar y del sistema nervioso, generando aumento de la respiración, dificultad de movimiento, hiperexitabilidad al estímulo, convulsiones y coma.

Carcinogenicidad: A pesar de que no existen evidencias que sugieran que el amoníaco es carcinogénico, se ha observado en animales sometidos a este producto, un aumento en lesiones inflamatorias de colon y proliferación celular, lo que incrementa la susceptibilidad al cáncer.

CAPITULO 4

METODOLOGIA

METODOLOGÍA

TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA MEDICIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Los datos de las mediciones atmosféricas de los contaminantes criterio y contaminantes peligrosos se obtuvieron utilizando técnicas espectroscópicas de percepción remota, los equipos utilizados son fueron: FTIR, diseñado y construido por IMACC (Austin, TX), y el equipo DOAS, modelo AR500 construido por el fabricante OPSIS.

TÉCNICA ESPECTROSCÓPICA FTIR

La técnica FTIR (Fourier Transform Infrared) está basada en la detección de las absorciones que las moléculas exhiben en el infrarrojo. Este método de percepción remota permite la observación in situ de una gran variedad de gases traza. Estas técnicas permiten mediante trayectoria abierta de radiación electromagnética el análisis de los contaminantes sin necesidad de llevar muestras al laboratorio así se puede obtener información en tiempo real de la composición del aire.

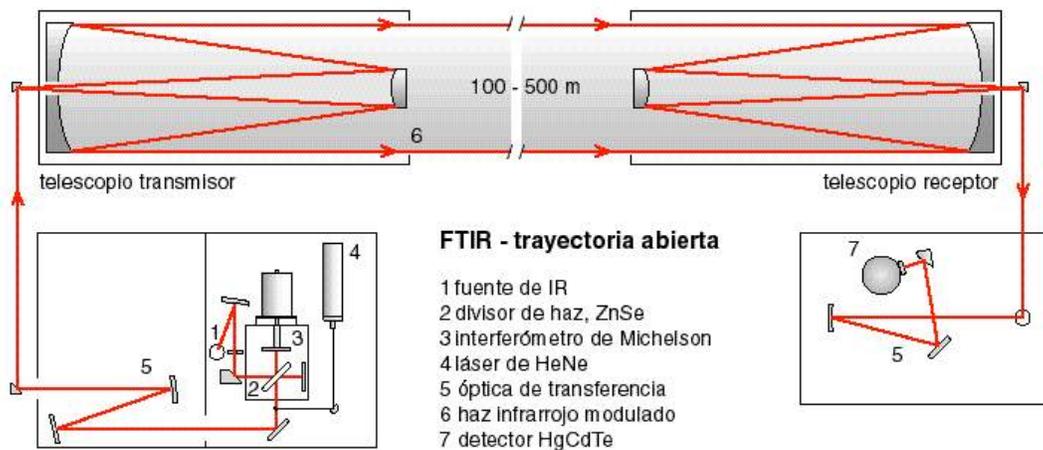


Fig. 4.1 Esquema del FTIR-trayectoria abierta. Lado izquierdo emisor, centro superior arreglo óptico inferior derecho receptor.

Este instrumento cuenta con una fuente de infrarrojo cuya radiación es dirigida a un interferómetro de Michelson. Una vez modulado el haz, este es dirigido a un telescopio, este telescopio transmite el haz hacia otro telescopio cuya función es coleccionar la radiación.

En este rango espectral se inducen vibraciones y rotaciones que, siendo características de cada una de las moléculas, pueden ser identificadas con precisión. La longitud de paso entre los telescopios emisor y receptor dependerá de las condiciones atmosféricas, y de acuerdo con la ley de Beer-Lambert, la absorbancia incrementará proporcionalmente con el aumento de ésta.

FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) es una técnica espectroscópica para la medición de gases traza en la atmósfera.. El componente central del FTIR es un interferómetro de Michelson que permite que la señal registrada sea la interferencia entre dos haces cuyas trayectorias ópticas ó fases se diferencian dado a que uno de los haces es reflejado por un espejo movable y el otro por uno fijo. El espectro en función de longitud de onda es calculado aplicándole al interferograma una transformada de Fourier de donde el instrumento recibe su nombre. Entre las ventajas de esta técnica destaca lo específico que puede llegar a ser dado a que cuenta con una alta resolución espectral, la rapidez de barrido (en menos de un segundo se puede abarcar la región de $600 - 4000 \text{ cm}^{-1}$) y por consiguiente la sensibilidad adquirida por la posibilidad de adicionar cientos de mediciones en unos cuantos minutos.

FTIR en trayectoria abierta consiste en pasar un haz de luz infrarroja, modulada por un interferómetro, a través de la atmósfera, el haz es colectado por un telescopio receptor produciendo un interferograma al incidir en el detector, el cual se transforma de radiación a señales eléctricas. Finalmente una terminal de cómputo realiza la adquisición y el procesamiento basado en el análisis de Fourier y una regresión clásica de mínimos cuadrados para la obtención de las concentraciones. Para ello utiliza un arreglo óptico (espejos, telescopios) que permiten enviar el haz a través de la atmósfera. De esta manera se puede detectar la absorción característica de los gases traza.

El rango del infrarrojo medio es ideal para la detección de compuestos orgánicos volátiles y algunos inorgánicos. Esta región cuenta con "ventanas" espectrales entre 800 y 1250 cm^{-1} en la cual se pueden identificar muchos compuestos orgánicos, así como la de 2000 a 3300 cm^{-1} en la que fácilmente se observan especies como HCl, HBr, HI, CO, CO₂ y varios hidrocarburos. También gases de gran influencia al

efecto invernadero como son CO_2 , CH_4 y N_2O , así como otros de propiedades oxidantes o simplemente importantes en la química de la atmósfera como lo son CO , O_3 , HCHO , NH_3 , HNO_3 , xileno, tolueno, isopreno y muchos más, pueden ser medidos simultáneamente por medio del espectrómetro FTIR.

TÉCNICA ESPECTROSCÓPICA DOAS

La técnica se basa en el principio de radiación electromagnética DOAS (Differential optical absorption spectroscopy) el cual trabaja bajo el principio de la espectroscopia óptica de absorción diferencial. Esta técnica espectroscópica en la región UV/visible es muy utilizada debido a que la sección transversal de absorción es relativamente grande en el UV/visible para muchos gases atmosféricos.

DOAS consiste en la transmisión de un haz de luz ultravioleta a través de la atmósfera. La luz emitida por un telescopio es en parte absorbida por especies activa en el ultravioleta y dirigida al telescopio receptor, guiada finalmente por medio de una fibra óptica al analizador.

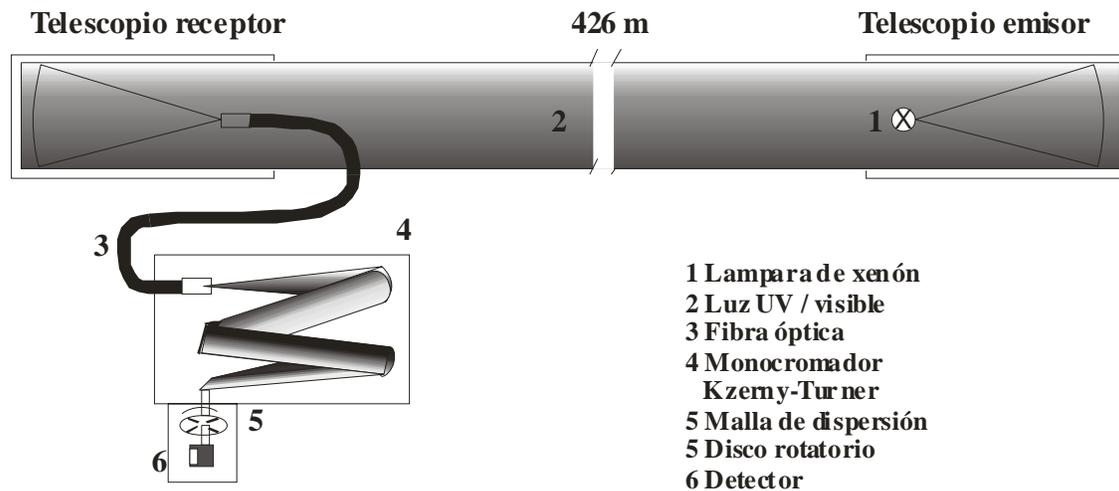


Fig. 4.2 Esquema DOAS lado superior derecho emisor, centro superior arreglo óptico e inferior izquierdo receptor.

Cuantitativamente la absorción diferencial de radiación expresada por la ley de Beer-Lambert:

$$I(\lambda)=I_0(\lambda)e^{-L\sigma(\lambda)c}$$

Donde I_0 es la intensidad inicial emitida por una fuente de radiación, $I(\lambda)$ es la intensidad de la radiación después de pasar a través de una sección de longitud L . C es la concentración de la especie, la constante $(\sigma)\lambda$ denota el coeficiente de absorción a la longitud de onda λ .

Métricas de Riesgos

La metodología utilizada para el análisis de riesgos es la siguiente:

PROBABILIDAD DE CÁNCER

La evidencia de riesgo de cáncer por exposición a sustancias químicas incluye estudios epidemiológicos, experimentos toxicológicos, estudios de mutagenicidad y análisis de actividad estructural.

Usando evidencia epidemiológica y toxicológica la EPA (1986) uso la siguiente clasificación para los compuestos potencialmente cancerígenos.

CANCERIGENO HUMANO: Existe suficiente evidencia epidemiológica para establecer una relación causal entre la exposición al agente y el desarrollo de cáncer.

La probabilidad de cáncer en el tiempo de vida (LCP) es el incremento de la probabilidad de un individuo de contraer cáncer debido a la exposición adicional de la sustancia en estudio.

La concentración de una sustancia en el aire en términos de masa por unidad de volumen se puede convertir en la probabilidad de riesgo de cáncer cruda, mediante el uso del factor de conversión llamado "factor de riesgo unitario"(URF).

El URF para usado para el formaldehído es:

$$\text{URF} = 6 \times 10^{-06} [\text{LCP}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)]$$

El URF para usado para el benceno es:

$$\text{URF} = 2.9 \times 10^{-05} [\text{LCP}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)]$$

PÉRDIDA DE LA ESPERANZA DE VIDA

Una medición de riesgo se basa en el promedio disminución de este valor por diferentes acciones o causas que se pueden usar para

propósitos de comparación y obtener una idea de las magnitudes relativas de los diferentes riesgos.

La pérdida de esperanza de vida (LLE) se puede calcular empleando las tasas de mortalidad en función de la edad. Así tenemos que una relación empírica para calcular es:

$$LLE = 1.1 \times 10^6 \times r \text{ (en días) para } r < 10^{-3} / \text{ año}$$

La pérdida de esperanza de vida se calculo utilizando la probabilidad de cáncer en el tiempo (LCP) por esta relación empírica.

INDICES DE PELIGROSIDAD AGUDOS Y CRÓNICOS

El índice de peligro a la salud es la medida de la significancia relativa a la exposición de un químico. Para los indicadores de efecto a la salud no canceroso se empleara un índice de peligro específico, este índice usualmente se compara a 1.0 y se expresa como un cociente relativo a un nivel de referencia legislado.

Índice de peligrosidad a la salud crónico.

$$HI = \sum \frac{X_c}{X_{\text{Crónica de Referencia}}}$$

Índice de peligrosidad agudo a la salud

$$HI = \sum \frac{X_c}{X_{\text{Aguda de Referencia}}}$$

Un valor de HI inferior a 1 representa que el compuesto en cuestión no posee efectos adversos salud.

CAPITULO 5

RESULTADOS

RESULTADOS

Los datos utilizados para este estudio son los obtenidos en la campaña de monitoreo ambiental llevada a cabo durante el mes de Abril de 2003 en dos zonas de la Ciudad de México: Cenica y Merced. Con estos datos se realizó un promedio mensual en concentración de $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y un promedio horario. Los datos obtenidos que se emplearon la realización de este estudio son los siguientes:

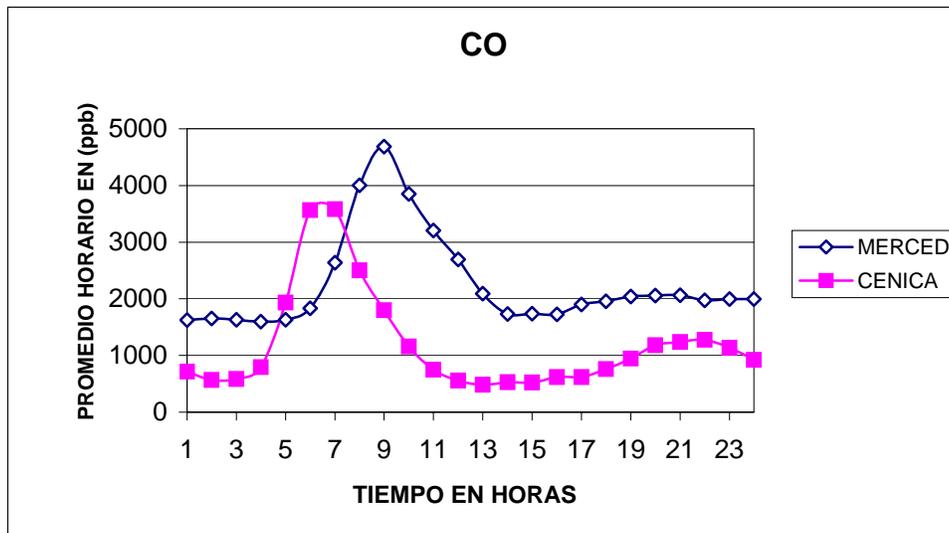


Fig. 5.1 Concentraciones ambientales horarias promedio mensual de CO en Merced y Cenica

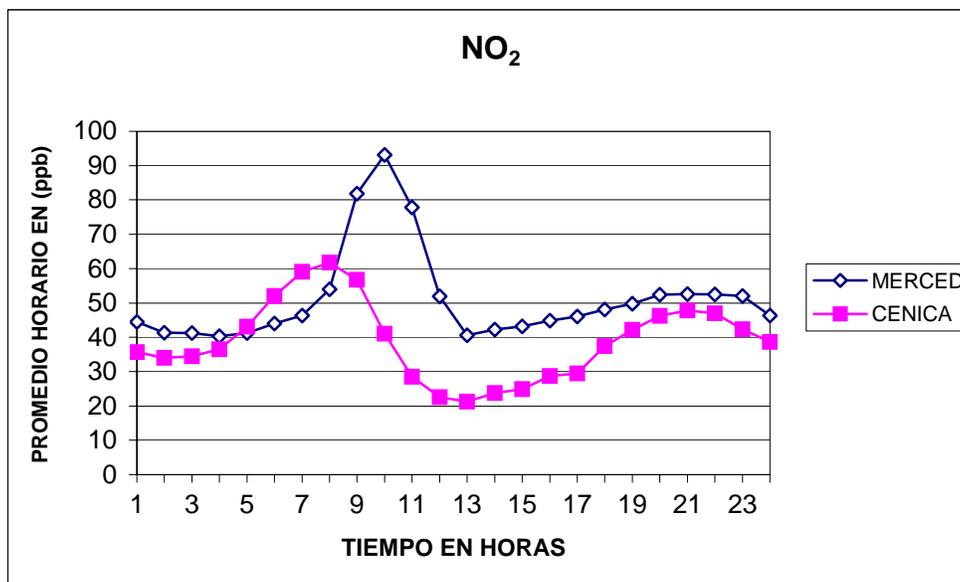


Fig. 5.2 Concentraciones ambientales horarias promedio mensual de NO₂ en Merced y Cenica

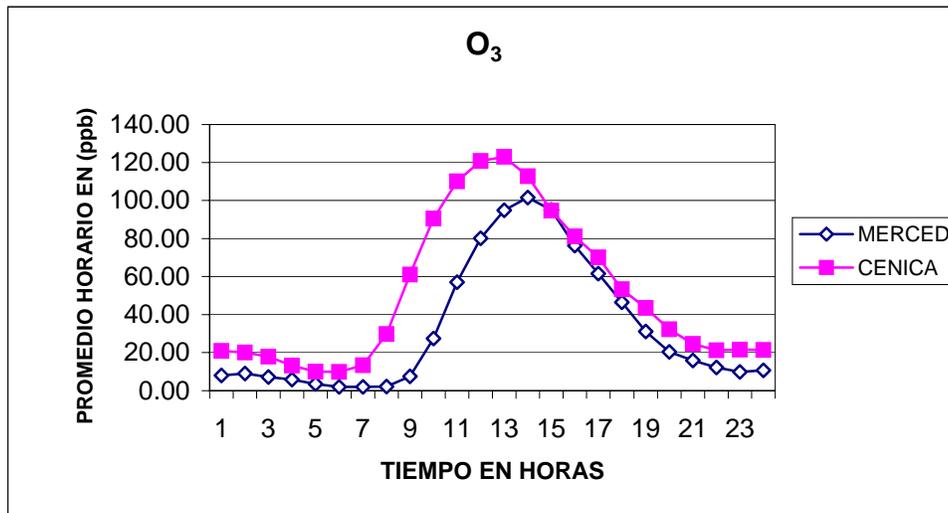


Fig. 5.3 Concentraciones ambientales horarias promedio mensual de O₃ en Merced y Cenica

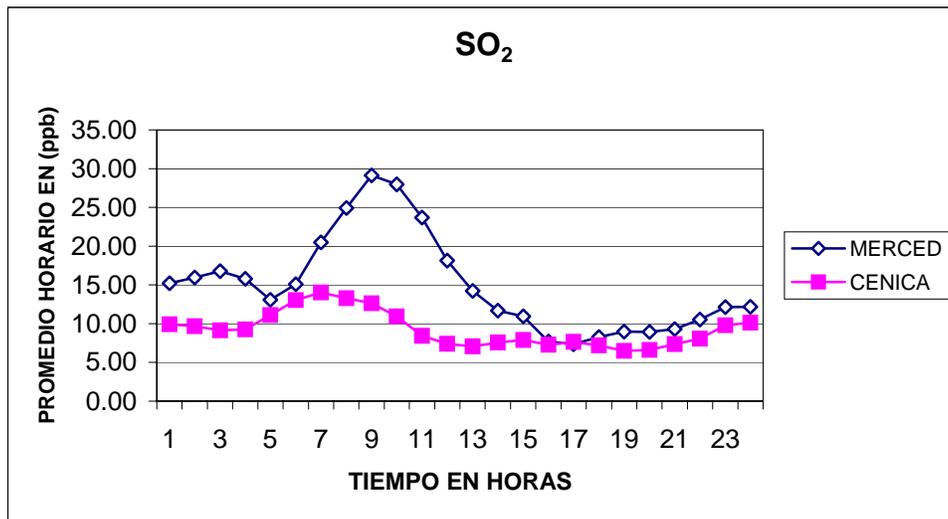


Fig. 5.4 Concentraciones ambientales horarias promedio mensual de SO₂ en Merced y Cenica

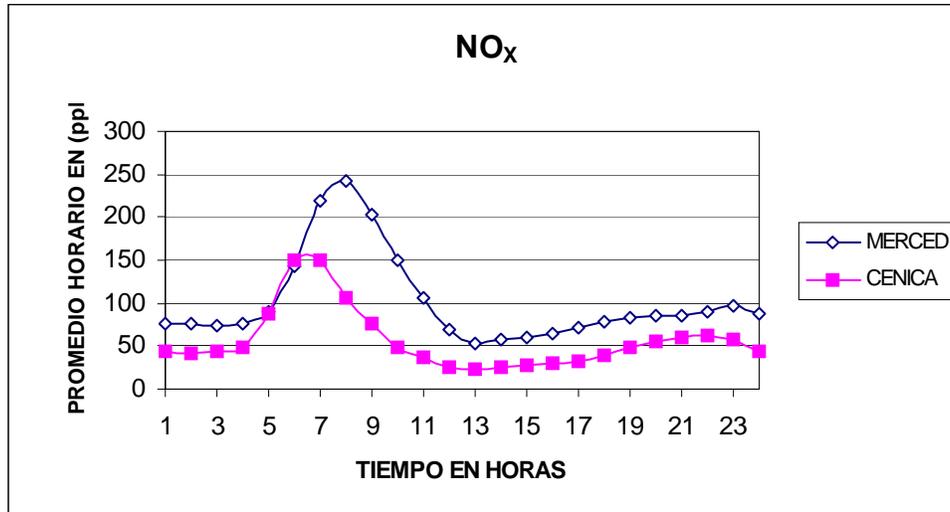


Fig. 5.5 Concentraciones ambientales horarias promedio mensual de NO_x en Merced y Cenica

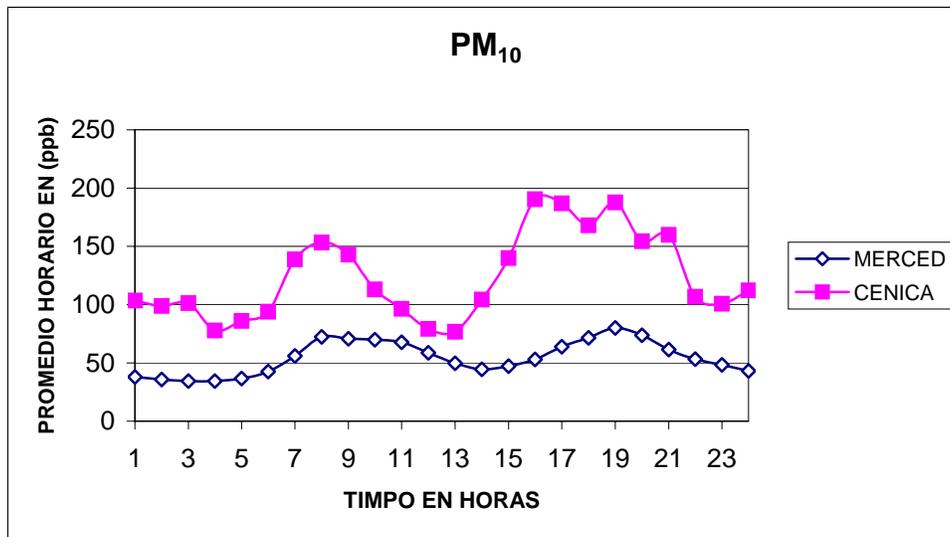


Fig. 5.6 Concentraciones ambientales horarias promedio mensual de PM₁₀ en Merced y Cenica

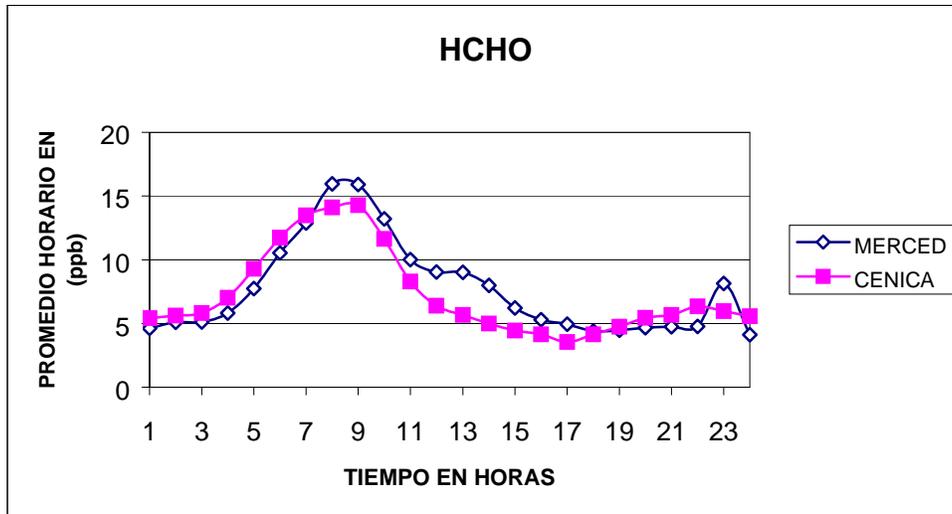


Fig. 5.7 Concentraciones ambientales horarias promedio mensual de HCHO en Merced y Cenica

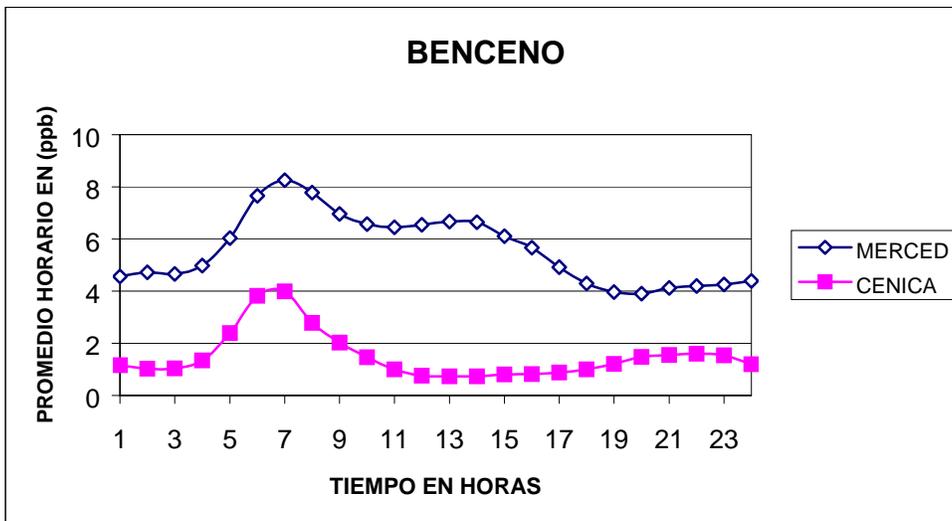


Fig. 5.8 Concentraciones ambientales horarias promedio mensual de benceno en Merced y Cenica

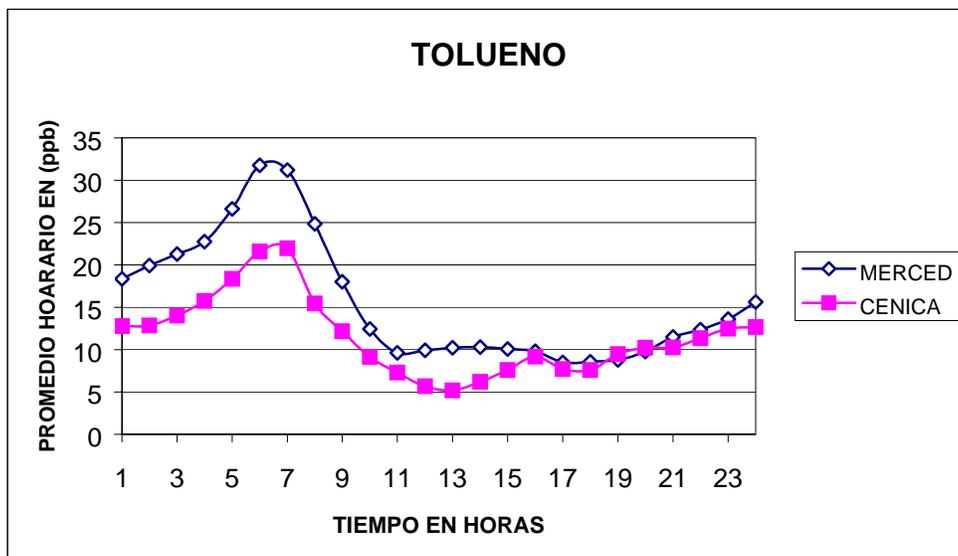


Fig. 5.9 Concentraciones ambientales horarias promedio mensual de tolueno en Merced y Cenica

Métricas de Análisis de Riesgo

De acuerdo a la metodología utilizada para el calculo del índice de peligrosidad, la probabilidad de cáncer en el tiempo y la perdida de esperanza de vida, empleando las concentraciones medidas por las técnicas espectroscópicas FTIR y DOAS durante el monitoreo ambiental en el 2003 se obtuvieron los siguientes resultados

La **Tabla 1** muestra los promedios mensuales de los contaminantes criterio y peligrosos para las zonas de la Merced y Cenica. Se puede observar que para Merced el SO_2 , NO_2 , NO_x , Benceno y Tolueno poseen concentraciones promedio mayores y en Cenica las concentraciones de PM_{10} , O_3 , HCHO son las mayores.

Tabla 1 PROMEDIOS MENSUALES DE CONTAMINANTES CRITERIO EN LA ZONA DE LA MERCED Y CENICA

CONTAMINANTES CRITERIO	MERCED		CENICA	
	PROMEDIO	DESVIACIÓN	PROMEDIO	DESVIACIÓN
	MENSUAL	ESTÁNDAR	MENSUAL	ESTÁNDAR
PM ₁₀	51.51	43.35	125.33	99.16
SO ₂	14.94	15.59	9.22	8.42
NO ₂	51.27	23.17	39.14	24.3
NO _x	101.72	71.79	57.14	50.51
O ₃	32.39	37.5	51.099	42.48
CO	2272.9	1278.1	1201.39	1262.7
Formaldehído (HCHO)	7.62	5.1	7.73	4.13
BENCENO	5.7	2.1	1.53	1.25
TOLUENO	15.67	10.76	11.57	8.37

La Tabla 2 muestra promedios mensuales de los contaminantes peligrosos adicionales medidos para el sitio Cenica.

Tabla 2 PROMEDIOS MENSUALES DE CONTAMINANTES PELIGROSOS EN LA ZONA DE CENICA

CONTAMINANTES PELIGROSOS	CENICA	
	PROMEDIO	DESVIACIÓN
	MENSUAL	ESTÁNDAR
NH ₃	5.7	8.007
m-xileno	3.24	2.99
p-xileno	9.26	0.807
cresol	0.0725	0.0494
benzaldeido	0.1932	0.17676
estireno	0.15247	0.3016
Metil Etil cetona(mek)	2.3102	2.539

La **Tabla 3** muestra valores de Índices de peligrosidad crónica para los contaminantes criterio en la zona de la Merced y Cenica. Se observa que de los contaminantes criterio las partículas son aquellas que poseen un índice de peligrosidad mayor a 1 lo cual indica que se deben estudiar sus riesgos ya que los valores promedio sobrepasan el valor de referencia. En cuanto a los contaminantes peligrosos el formaldehído (HCHO) tiene el índice más alto de todos los contaminantes medidos. Adicionalmente se observa que en CENICA se tiene el valor más alto del índice de peligrosidad a la salud crónico no cancerogénico.

Tabla 3 INDICES DE PELIGROSIDAD CRÓNICOS PARA CONTAMINANTES CRITERIO EN LA ZONA DE LA MERCED Y CENICA

CONTAMINANTES CRITERIO	REL CRONICO	MERCED		CENICA	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	HI	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	HI
PM ₁₀	50	74.56	1.4912	125.33	2.50
SO ₂	660	42.68	0.0647	26.34	0.0399
NO ₂	470	100.7	0.2143	80.37	0.171
NO _x					
O ₃	180	69.401	0.38556	109.49	0.6083
Peligrosos					
HCHO	3	10.209	3.403	10.35	3.45
BENC	60	19.8482	0.3308	5.327	0.089
TOL	300	65.058	0.21686	48.036	0.16012

La **Tabla 4** muestra los índices de peligrosidad crónica no cancerígena para los contaminantes peligrosos en la zona de Cenica. Se puede observar que los valores individuales son bajos sin embargo, se encuentran en al atmósfera de la ciudad de México y contribuyen a aumentar los índices de peligrosidad.

Tabla 4 ÍNDICES DE PELIGROSIDAD CRÓNICOS PARA CONTAMINANTES PELIGROSOS EN LA ZONA DE CENICA

CONTAMINANTES PELIGROSOS	REL CRÓNICO	CENICA	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	HI
NH ₃	200	4.3258	0.0216
m-xileno	700	15.62	0.0223
p-xileno	700	44.64	0.0638
cresol	600	0.3948	0.0007

Y finalmente la **Tabla 5** muestra los resultados de perdida de esperanza de vida y probabilidad de cáncer en el tiempo para el benceno y formaldehído. Se observa que la perdida de esperanza de vida y la probabilidad de cáncer en el tiempo es mayor para la zona de la Merced que para Cenica.

Tabla 5 PROBABILIDAD DE CANCER EN EL TIEMPO, PERDIDA DE ESPERANZA DE VIDA PARA FORMALDEHIDO Y BENCENO

CONTAMINANTES	URF	LCP	LCP	LLE	LLE
		MERCED	CENICA	MERCED	CENICA
HCHO	0.000006	6.13E-05	6.21E-05	67.3794	68.31
BENCENO	0.000029	5.76E-04	1.54E-04	633.15758	169.9313

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados que se muestran en las tablas, podemos observar que el índice de peligrosidad mas alto para todos los contaminantes estudiados es el formaldehído, con un índice de peligrosidad crónico de 3.40 para la Merced y 3.45 para Cenica este valor es sumamente alto considerando que el valor máximo recomendado es menor o igual a 1.

Cuando se trata de perdida de esperanza de vida observamos que el contaminante que tiene más relevancia es el benceno ya que tiene un valor para la zona de la merced de 633 días de perdida de esperanza de vida y para Cenica de 163 días que son valores más altos que para el caso del formaldehído esto indica que la zona con mas perdida de vida es la Merced.

La probabilidad de cáncer en el tiempo vida es mayor en el caso del benceno que tiene un valor de $5.76E-04$ en la Merced y de $1.54E-04$ en Cenica. Lo que nos indica que la probabilidad de cáncer es mucho mayor en la zona de la Merced que en Cenica. Así en la Merced existe la probabilidad de cáncer en la población de 576 casos en un millón debido a la presencia de este contaminante comparado con Cenica que presenta 154 casos en un millón.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los datos utilizados para este trabajo fueron obtenidos de la campaña de monitoreo ambiental realizado en la ciudad de México del 1 al 30 abril del año 2003 para la zona de Merced y Cenica, en la que fueron empleadas las técnicas espectroscópicas más modernas para la detección de contaminantes atmosféricos, se evaluaron los principales contaminantes criterio y contaminantes peligrosos para la salud y el ambiente.

Se obtuvieron resultados, donde se muestran que los dos principales contaminantes atmosféricos son:

- 1) El formaldehído que tiene índice de peligrosidad agudo mayor a 3 que comparado con el recomendado 1 es significativamente alto, por otra parte se sabe que el formaldehído ocasiona irritación ocular y nasal, irritación de las membranas mucosas, tos, náusea y alteraciones en la respiración. El formaldehído ha sido asociado con cáncer nasal y nasofaríngeo, principalmente en ambientes ocupacionales. La exposición al formaldehído debe reducirse no sólo por su probable efecto carcinógeno, sino también por su potencial para causar daño tisular.
- 2) El benceno presenta un valor elevado de probabilidad de cáncer en el tiempo vida y perdida de esperanza de vida en la zona de la Merced. El benceno es un compuesto clasificado por la Agencia Internacional de Investigación sobre el cáncer como carcinógeno, lo que significa que existe suficiente evidencia científica para probar una relación positiva entre la exposición al compuesto tóxico y el desarrollo del cáncer. Más específicamente, se ha encontrado que los trabajadores expuestos al benceno tienen una mayor probabilidad de desarrollar leucemia aguda que la población en general. Así mismo, se sabe que el benceno tiene efectos hematológicos, inmunológicos sobre el sistema nervioso central.

De los resultados observamos que la probabilidad de cáncer de la población en la Merced es de 576 casos por cada millón de habitantes y una perdida de esperanza de vida de 633 días debido a la presencia del benceno en el ambiente. Si se considera adicionalmente el riesgo del benceno más el de formaldehído se tienen 637 casos por cada millón de habitantes para la zona de la Merced y 216 casos para Cenica. Para el caso de pérdida de esperanza de vida para Merced es

700 días y para Cenica 238 días. Así se observa que el riesgo en la Merced es 3 veces mayor que para Cenica.

La principal fuente de este contaminante proviene del uso de automóviles y del manejo de hidrocarburos como la gasolina. Se deben hacer reformas en las que se tomen en cuenta estos datos para privilegiar el uso de otros medios de transporte y el manejo de la tecnología adecuada para evitar la evaporación de estos contaminantes a la atmósfera.

Así se concluye que la ciudad de México esta expuesta a un riesgo por contaminación ambiental y es necesario evaluar la legislación vigente en materia ambiental y adoptar acciones para disminuir el riesgo por esta contaminación en la población y ambiente; sobre todo en algunas zonas de la ciudad como la Merced ya que en este trabajo se encontró que la zona de la Merced posee los riesgos más altos comparado con Cenica.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

- Cofepris: Lineamientos generales para realizar estudios de evaluación de riesgos a la salud humana por exposición ambiental a contaminantes Disponible en la red en: www.cofepris.gob.mx .Vistado por última vez 11 abril 2007
- www.colegionacional.org.mx El Colegio Nacional: Percepción remota de contaminantes mediante espectroscopia FTIR
- Flores Jardines, Edgar. Tesis de Maestría. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. “Percepción remota de contaminantes atmosféricos mediante dos métodos espectroscópicos (FTIR-DOAS) en la zona centro de la ciudad de México 2003”.
- Gratt, B. Lawrence. “Air Toxic Risk Assessment and Management”. Van Nostran Reinhold. NY 1996
- Grutter, M., E. Flores. “Formaldehyde level in downtown Mexico City during 2003” *Atmospheric Environment* **39**(2005) pp.1027-1034
- NOM-021-SSA1-1993 Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono en aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial de la Federación 23-dic 1994
- NOM-022-SSA1-1993 Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de azufre (SO₂). Valor permisible para la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial de la Federación 23-dic 1994
- Sistema de monitoreo atmosférico de la ciudad de México disponible en: www.sma.df.gob.mx visitado por última vez 11 abril 2007
- U.S. Environmental Protection Agency disponible en la red en: www.epa.gov visitado por última vez 11 abril 2007

ANEXO ESTADÍSTICO

**Cuadro A.1. Índice de analfabetismo en México por sexo,
1970-2005**

Sexo	1970	1990	2005
Hombres	19.9	8.0	5.3
Mujeres	26.4	12.3	7.6
Total	23.2	10.2	6.5

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

**Cuadro A.2. Índice de analfabetismo por grupos de edad,
1970-2005**

Grupos de Edad	1970	1990	2005
10-19	15.2	4.1	1.8
20-29	20.1	6.2	3.3
30-39	25.8	10.1	4.7
40-49	30.3	17.2	8.0
50-59	35.0	23.8	13.8
60-69	45.6	30.4	23.5
70-74	50.9	35.5	29.2

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

**Cuadro A.3. Índice de analfabetismo por grupos de edad y sexo,
1970-2005**

Grupos de Edad	1970		1990		2005	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
10-19	14.6	15.8	4.0	4.1	2.0	1.7
20-29	16.9	23.0	4.9	7.4	3.1	3.4
30-39	21.1	30.3	7.4	12.6	3.9	5.3
40-49	24.2	36.3	12.4	21.7	6.1	9.8
50-59	28.4	41.7	18.0	29.1	10.3	17.1
60-69	38.7	52.3	23.9	36.3	18.6	28.0
70-74	45.9	56.1	28.2	42.2	23.7	34.0

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.4. Población según zona rural o urbana, 1970-2005

Tamaño de Localidad	1970 (%)	1990 (%)	2005 (%)
Rural	40.5	27.2	22.5
Urbano	59.5	72.8	77.5

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.5. Índice de analfabetismo según zona rural o urbana y sexo, 1970-2005

Tamaño de Localidad	1970			1990			2005		
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Rural	31.1	40.1	35.5	16.8	24.8	20.8	12.5	17.0	14.8
Urbano	11.9	17.5	14.8	4.6	7.8	6.3	3.2	4.9	4.1

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.6. Índice de analfabetismo según zona rural o urbana y grupos de edad, 1970-2005

Grupo de Edad	1970		1990		2005	
	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano
10-19	24.5	8.6	8.5	2.1	3.6	1.2
20-29	32.8	11.8	15.5	3.2	8.7	1.9
30-39	39.3	16.7	24.4	5.7	12.9	2.7
40-49	45.1	20.6	35.3	10.6	21.2	4.8
50-59	51.2	24.3	42.8	16.1	32.2	8.8
60-69	61.2	34.1	49.4	22.5	44.2	16.2
70-74	67.2	38.4	54.9	26.7	49.8	21.5

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.7. Población según lengua indígena, 1970-2005

Lengua Indígena	1970 (%)	1990 (%)	2005 (%)
Hispanoparlante	91.7	92.5	93.4
Hablante	8.3	7.5	6.6

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.8. Índice de analfabetismo según lengua indígena y sexo, 1970-2005

Lengua Indígena	1970			1990			2005		
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Hispanoparlante	17.7	22.9	20.3	6.5	9.6	8.1	4.2	5.8	5.0
Hablante	44.4	65.3	54.8	26.3	45.7	36.2	19.8	33.5	26.8

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.9. Índice de analfabetismo según lengua indígena y grupos de edad, 1970-2005

Grupo de Edad	1970		1990		2005	
	Hispano-parlante	Hablante	Hispano-Parlante	Hablante	Hispano-parlante	Hablante
10-19	13.3	41.1	3.1	17.9	1.4	8.0
20-29	17.0	53.3	4.6	29.1	2.4	16.8
30-39	22.3	59.6	7.6	39.7	3.4	25.6
40-49	27.0	63.0	13.9	50.9	6.0	35.3
50-59	31.7	66.7	20.2	57.9	10.8	47.7
60-69	42.5	72.7	26.7	62.6	19.7	58.7
70-74	48.1	75.0	31.6	65.6	25.3	63.1

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 199; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.10. Índice de analfabetismo por Entidad Federativa, 1970-2005

Entidad Federativa	1970	1990	2005
Aguascalientes	13.4	4.9	2.9
Baja California	11.1	3.8	2.4
Baja California Sur	12.8	4.3	3.4
Campeche	23.3	12.0	8.3
Coahuila	11.6	4.3	2.4
Colima	19.5	7.5	4.9
Chiapas	42.7	26.2	18.3
Chihuahua	12.9	4.9	3.5
Distrito Federal	8.7	3.1	1.9
Durango	12.7	5.1	3.8
Guanajuato	34.9	13.2	7.6
Guerrero	42.8	22.1	15.3
Hidalgo	37.3	16.8	9.8
Jalisco	18.1	7.1	4.1
México	24.0	7.2	4.1
Michoacán	33.6	14.0	9.1
Morelos	26.4	9.5	6.2
Nayarit	21.6	8.6	5.7
Nuevo León	10.4	3.5	2.0
Oaxaca	40.9	21.7	14.6
Puebla	32.6	15.8	9.6
Querétaro	38.1	12.0	6.1
Quintana Roo	25.8	11.3	5.6
San Luis Potosí	29.1	12.0	7.6
Sinaloa	20.6	7.7	4.9
Sonora	13.5	4.4	2.7
Tabasco	24.0	10.2	7.1
Tamaulipas	13.5	5.9	3.4
Tlaxcala	22.3	8.5	4.5
Veracruz	28.6	15.4	10.7
Yucatán	25.2	13.5	8.5
Zacatecas	17.9	7.5	5.1

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.11. Índice de analfabetismo por Entidad Federativa y sexo, 1970-2005

Entidad Federativa	1970		1990		2005	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Aguascalientes	10.1	16.6	4.2	5.5	2.7	3.1
Baja California	10.4	11.9	3.4	4.3	2.1	2.7
Baja California Sur	12.4	13.2	4.0	4.6	2.8	4.0
Campeche	19.0	27.6	9.9	14.2	6.3	10.2
Coahuila	11.0	12.3	3.6	4.8	2.5	2.4
Colima	20.0	19.0	7.5	7.6	4.9	4.9
Chiapas	35.6	49.5	19.6	32.6	13.7	22.6
Chihuahua	12.5	13.3	4.7	5.2	3.6	3.5
Distrito Federal	5.3	11.8	1.7	4.4	1.2	2.5
Durango	13.0	12.3	5.2	5.1	3.9	3.6
Guanajuato	31.8	38.0	10.5	15.7	6.4	8.6
Guerrero	38.4	47.0	18.7	25.3	12.7	17.6
Hidalgo	31.5	43.0	12.8	20.6	8.1	11.4
Jalisco	17.2	19.1	6.4	7.7	4.0	4.3
México	18.5	29.5	4.6	9.6	2.7	5.3
Michoacán	32.4	34.9	12.7	15.1	8.3	9.9
Morelos	24.0	28.7	7.5	11.3	5.6	6.8
Nayarit	20.8	22.5	8.4	8.8	5.5	5.9
Nuevo León	8.9	11.9	2.9	4.0	1.9	2.2
Oaxaca	33.8	47.6	15.4	27.6	11.1	17.6
Puebla	26.2	38.9	11.3	20.0	7.3	11.7
Querétaro	32.1	43.8	9.0	14.9	4.6	7.4
Quintana Roo	24.5	27.3	8.0	14.7	4.3	6.8
San Luis Potosí	25.9	32.4	9.8	14.2	6.7	8.5
Sinaloa	20.6	20.6	7.7	7.8	5.2	4.6
Sonora	13.1	13.9	4.3	4.5	2.6	2.8
Tabasco	19.3	28.8	7.5	12.9	5.7	8.3
Tamaulipas	12.2	14.8	5.2	6.4	3.1	3.7
Tlaxcala	16.3	28.6	5.6	11.4	3.4	5.5
Veracruz	23.2	34.1	11.9	18.8	8.9	12.3
Yucatán	22.6	28.0	11.2	15.8	7.0	9.9
Zacatecas	17.3	18.5	7.0	8.1	4.8	5.3

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.12. Índice de analfabetismo por Entidad Federativa y zona rural o urbana, 1970-2005

Entidad Federativa	1970		1990		2005	
	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano
Aguascalientes	13.5	13.3	10.0	3.5	5.0	2.5
Baja California	13.5	10.7	8.9	3.3	6.1	2.1
Baja California Sur	16.0	10.2	8.6	3.2	9.3	2.2
Campeche	34.9	17.7	20.2	8.9	14.1	6.4
Coahuila	18.1	9.3	9.2	3.5	6.4	2.0
Colima	22.9	17.9	14.0	6.2	8.4	4.4
Chiapas	49.6	25.7	34.0	15.4	24.6	11.9
Chihuahua	20.6	9.0	12.5	2.9	12.5	2.0
Distrito Federal	15.1	8.5	9.1	3.1	3.5	1.9
Durango	15.9	8.5	8.1	3.1	6.9	2.3
Guanajuato	48.2	23.0	19.5	9.6	13.4	5.1
Guerrero	52.9	25.9	33.1	13.0	23.6	9.5
Hidalgo	45.0	18.1	23.7	8.8	15.3	5.1
Jalisco	25.7	14.0	14.5	5.5	9.2	3.4
México	33.1	18.4	18.1	5.3	10.5	3.2
Michoacán	41.0	25.5	19.1	10.8	13.3	7.2
Morelos	34.0	23.3	13.6	8.8	8.6	5.8
Nayarit	26.0	17.5	12.5	6.4	9.8	3.7
Nuevo León	18.9	7.9	9.7	2.9	7.6	1.7
Oaxaca	45.2	30.3	27.3	13.6	19.6	9.3
Puebla	42.2	22.4	26.8	10.2	18.3	6.3
Querétaro	48.9	18.6	20.9	6.3	11.3	3.9
Quintana Roo	33.1	12.6	23.4	7.2	15.3	4.0
San Luis Potosí	37.3	16.8	19.1	6.7	14.2	4.0
Sinaloa	26.9	14.2	13.4	4.7	9.3	3.1
Sonora	19.8	10.4	8.9	3.2	6.7	2.1
Tabasco	28.1	16.3	14.4	6.1	10.3	4.5
Tamaulipas	18.8	11.2	11.1	4.6	8.3	2.7
Tlaxcala	21.5	23.1	11.2	7.7	5.4	4.3
Veracruz	38.0	18.9	24.2	9.2	17.3	6.5
Yucatán	36.8	19.4	25.1	10.6	16.3	7.0
Zacatecas	20.7	11.8	9.5	5.2	7.5	3.4

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.13. Índice de analfabetismo por Entidad Federativa y lengua indígena, 1970-2005

Entidad Federativa	1970		1990		2005	
	Hispano-parlante	Hablante	Hispano-parlante	Hablante	Hispano-parlante	Hablante
Aguascalientes	13.4	0.0	4.9	0.0	2.9	4.5
Baja California	11.1	17.6	3.7	17.6	2.2	17.7
Baja California Sur	12.7	33.3	4.2	20.0	3.0	24.6
Campeche	18.4	37.3	8.5	26.9	5.7	23.8
Coahuila	11.6	14.3	4.2	8.0	2.4	4.5
Colima	19.4	50.0	7.5	12.5	4.9	6.5
Chiapas	35.0	68.5	18.9	47.5	13.2	32.7
Chihuahua	11.5	77.6	3.8	50.9	2.3	42.8
Distrito Federal	8.5	25.9	2.9	14.6	1.7	11.6
Durango	12.3	71.4	4.4	51.3	3.3	27.4
Guanajuato	34.9	52.4	13.2	20.0	7.5	13.6
Guerrero	37.2	79.7	17.2	55.7	11.4	40.5
Hidalgo	29.7	64.5	11.4	39.4	6.2	29.4
Jalisco	18.1	56.3	7.0	29.6	4.0	17.9
México	21.6	57.3	6.2	30.4	3.5	23.9
Michoacán	33.0	52.1	13.1	34.5	8.6	25.8
Morelos	25.5	53.4	9.0	30.4	5.9	24.7
Nayarit	20.6	69.3	7.4	42.8	4.8	27.8
Nuevo León	10.4	37.5	3.4	35.4	2.0	5.9
Oaxaca	31.2	54.2	13.0	34.8	8.4	26.0
Puebla	26.7	60.5	11.5	41.2	7.0	29.9
Querétaro	37.1	69.4	11.4	37.5	5.8	22.6
Quintana Roo	12.0	36.5	4.8	23.2	2.9	16.7
San Luis Potosí	26.5	50.0	10.1	26.6	6.3	18.2
Sinaloa	20.3	46.0	7.3	33.2	4.6	26.7
Sonora	12.3	46.7	3.7	23.7	2.4	14.8
Tabasco	22.8	42.4	9.7	23.8	6.7	17.3
Tamaulipas	13.5	30.8	5.8	11.5	3.4	5.9
Tlaxcala	20.9	44.0	7.7	27.1	4.1	21.7
Veracruz	24.9	56.5	12.5	39.5	8.7	29.3
Yucatán	13.5	33.9	3.5	24.9	2.6	19.8
Zacatecas	17.9	37.5	7.5	0.0	5.1	13.6

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.14. Comparación del índice de analfabetismo de grupos decenales de edad por sexo, 1970-2005

Grupo de Edad	Índice de Analfabetismo (%)								
	1970			1990			2005		
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
10-19	14.6	15.8	15.2	4.0	4.1	4.1	2.0	1.7	1.8
30-39	21.1	30.3	25.8	7.4	12.6	10.1	3.9	5.3	4.7
50-59	28.4	41.7	35.0	18.0	29.1	23.8	10.3	17.1	13.8
65-74	42.4	54.0	48.2	25.7	39.2	32.8	21.7	31.6	26.9

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.15. Comparación del índice de analfabetismo de grupos decenales de edad por zona rural o urbana, 1970-2005

Grupo de Edad	Índice de Analfabetismo					
	1970		1990		2005	
	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano
10-19	24.5	8.6	8.5	2.1	3.6	1.2
30-39	39.3	16.7	24.4	5.7	12.9	2.7
50-59	51.2	24.3	42.8	16.1	32.2	8.8
65-74	63.7	36.8	51.8	24.7	46.9	19.4

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.16. Comparación del índice de analfabetismo de grupos decenales de edad por lengua indígena, 1970-2005

Grupo de Edad	Índice de Analfabetismo					
	1970		1990		2005	
	Hispano-parlante	Hablante	Hispano-parlante	Hablante	Hispano-parlante	Hablante
10-19	13.3	41.1	3.1	17.9	1.4	8.0
30-39	22.3	59.6	7.6	39.7	3.4	25.6
50-59	31.7	66.7	20.2	57.9	10.8	47.7
65-74	45.5	72.3	29.1	63.6	23.3	59.7

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

**Cuadro A.17. Índice de analfabetismo por sexo
de la generación 1916-1925 en 1970 y 1990**

Año	1970			1990		
	45-54			65-74		
Grupo de Edad	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Índice de Analfabetismo (%)	26.1	38.7	32.3	25.7	39.2	32.8

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990.

**Cuadro A.18. Índice de analfabetismo por zona rural o urbana
de la generación 1916-1925 en 1970 y 1990**

Año	1970		1990	
	45-54		65-74	
Grupo de Edad	Rural	Urbano	Rural	Urbano
Índice de Analfabetismo (%)	47.9	21.9	51.8	24.7

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990.

**Cuadro A.19. Índice de analfabetismo por lengua indígena
de la generación 1916-1925 en 1970 y 1990**

Año	1970		1990	
	45-54		65-74	
Grupo de Edad	Hispano-parlante	Hablante	Hispano-parlante	Hablante
Índice de Analfabetismo (%)	28.9	65.1	29.1	63.6

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990.

**Cuadro A.20. Índice de analfabetismo por sexo de la generación
1931-1940 en 1970, 1990 y 2005**

Año	1970			1990			2005		
	30-39			50-59			65-74		
Grupo de Edad	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Índice de Analfabetismo (%)	21.1	30.3	25.8	18.0	29.1	23.8	21.7	31.6	26.9

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.21. Índice de analfabetismo por zona rural o urbana de la generación 1931-1940 en 1970, 1990 y 2005

Año	1970		1990		2005	
	30-39		50-59		65-74	
Grupo de Edad	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano
Índice de Analfabetismo (%)	39.3	16.7	42.8	16.1	46.9	19.4

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.22. Índice de analfabetismo por lengua indígena de la generación 1931-1940 en 1970, 1990 y 2005

Año	1970		1990		2005	
	30-39		50-59		65-74	
Grupo de Edad	Hispano-parlante	Hablante	Hispano-parlante	Hablante	Hispano-parlante	Hablante
Índice de Analfabetismo (%)	22.3	59.6	20.2	57.9	23.3	59.7

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.23. Índice de analfabetismo por sexo de la generación 1951-1960 en 1970, 1990 y 2005

Año	1970			1990			2005		
	10-19			30-39			45-54		
Grupo de Edad	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Índice de Analfabetismo (%)	14.6	15.8	15.2	7.4	12.6	10.1	7.7	12.7	10.5

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.24. Índice de analfabetismo por zona rural o urbana de la generación 1951-1960 en 1970, 1990 y 2005

Año	1970		1990		2005	
	10-19		30-39		45-54	
Grupo de Edad	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano
Índice de Analfabetismo (%)	24.5	8.6	24.4	5.7	25.9	6.4

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.25. Índice de analfabetismo por lengua indígena de la generación 1951-1960 en 1970, 1990 y 2005

Año	1970		1990		2005	
	10-19		30-39		45-54	
Grupo de Edad	Hispano-parlante	Hablante	Hispano-parlante	Hablante	Hispano-parlante	Hablante
Índice de Analfabetismo (%)	13.3	41.1	7.6	39.7	7.9	41.4

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.26. Índice de analfabetismo por sexo de la generación 1971-1980 en 1990 y 2005

Año	1990			2005		
	10-19			25-34		
Grupo de Edad	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Índice de Analfabetismo (%)	4.0	4.1	4.1	3.6	4.3	3.9

FUENTE: Muestras del Censo General de Población y Vivienda 1990 y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.27. Índice de analfabetismo por zona rural o urbana de la generación 1971-1980 en 1990 y 2005

Año	1990		2005	
	10-19		25-34	
Grupo de Edad	Rural	Urbano	Rural	Urbano
Índice de Analfabetismo (%)	8.5	2.1	10.8	2.2

FUENTE: Muestras del Censo General de Población y Vivienda 1990 y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.28. Índice de analfabetismo por lengua indígena de la generación 1971-1980 en 1990 y 2005

Año	1990		2005	
	10-19		25-34	
Grupo de Edad	Hispano-parlante	Hablante	Hispano-parlante	Hablante
Índice de Analfabetismo (%)	3.1	17.9	2.9	21.6

FUENTE: Muestras del Censo General de Población y Vivienda 1990 y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.29. Índice de analfabetismo por sexo en relación a la inasistencia y a la permanencia corta en la escuela, 1970-2005

Sexo	1970		1990		2005	
	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta
Hombres	77.3	0.9	68.4	1.2	79.8	1.3
Mujeres	83.2	1.1	80.2	1.5	85.7	1.7
Total	80.6	1.0	75.3	1.4	83.3	1.5

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.30. Proporción de analfabetas por sexo en relación a la inasistencia y a la permanencia corta en la escuela, 1970-2005

Sexo	1970		1990		2005	
	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta
Hombres	97.4	2.6	90.8	9.2	82.2	14.7
Mujeres	97.8	2.2	92.2	7.8	84.0	12.8
Total	97.6	2.4	91.6	8.4	83.3	13.6

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.31. Grados aprobados por los analfabetas que permanecieron por periodos cortos en la escuela por sexo, 1970-2005

Sexo	1970			1990			2005		
	Un año	Dos años	Tres años	Un año	Dos años	Tres años	Un año	Dos años	Tres años
Hombres	2.1	0.4	0.1	4.1	3.4	1.7	6.1	5.3	3.3
Mujeres	1.7	0.4	0.1	3.5	3.0	1.3	5.6	4.8	2.4
Total	1.9	0.4	0.1	3.7	3.2	1.5	5.8	5.0	2.8

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.32. Índice de analfabetismo por grupos de edad en relación a la inasistencia y a la permanencia corta en la escuela, 1970-2005

Grupos de edad	1970		1990		2005	
	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta
10-19	84.9	0.8	83.3	1.5	89.8	1.4
20-29	78.8	0.6	73.7	0.9	86.5	0.8
30-39	78.1	1.0	73.7	1.1	86.4	1.0
40-49	78.6	1.4	74.5	1.6	83.1	1.6
50-59	80.2	1.5	74.2	2.1	81.0	2.5
60-69	82.5	2.3	74.6	2.4	81.9	3.9
70-74	84.7	1.9	77.0	2.4	81.1	4.9

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.33. Proporción de analfabetas por grupos de edad en relación a la inasistencia y a la permanencia corta en la escuela, 1970-2005

Grupos de edad	1970		1990		2005	
	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta
10-19	98.0	2.0	87.6	12.4	76.9	18.9
20-29	97.9	2.1	88.3	11.7	78.8	17.9
30-39	97.3	2.7	90.4	9.6	79.8	17.4
40-49	97.0	3.0	92.6	7.4	81.9	15.0
50-59	97.6	2.4	93.7	6.3	84.7	12.5
60-69	97.7	2.3	95.1	4.9	87.6	9.3
70-74	98.5	1.5	96.2	3.8	88.3	8.3

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.34. Grados aprobados por los analfabetas que permanecieron por periodos cortos en la escuela por grupos de edad, 1970-2005

Grupos de edad	1970			1990			2005		
	Un año	Dos años	Tres años	Un año	Dos años	Tres años	Un año	Dos años	Tres años
10-19	2.0	-	-	4.8	5.0	2.6	7.9	6.4	4.6
20-29	2.1	-	-	4.7	4.5	2.5	6.0	7.1	4.8
30-39	1.9	0.8	-	4.1	3.8	1.7	6.5	6.8	4.1
40-49	2.0	1.0	-	3.8	2.6	1.0	6.2	5.7	3.1
50-59	1.5	0.6	0.3	3.1	2.2	1.0	6.0	4.4	2.1
60-69	1.4	0.7	0.2	2.2	1.9	0.8	4.8	3.2	1.3
70-74	1.0	0.4	0.1	2.1	1.2	0.5	4.0	3.1	1.2

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.35. Índice de analfabetismo por zona rural o urbana en relación a la inasistencia y a la permanencia corta en la escuela, 1970-2005

Tamaño de localidad	1970		1990		2005	
	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta
Rural	84.3	1.7	84.8	2.8	89.9	3.6
Urbano	75.3	0.7	66.0	0.9	77.2	1.0

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.36. Proporción de analfabetas por zona rural o urbana en relación a la inasistencia y a la permanencia corta en la escuela, 1970-2005

Tamaño de localidad	1970		1990		2005	
	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta
Rural	97.8	2.2	92.2	7.8	84.1	13.2
Urbano	97.3	2.7	90.9	9.1	82.5	13.9

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.37. Grados aprobados por los analfabetas que permanecieron por periodos cortos en la escuela por zona rural o urbana, 1970-2005

Tamaño de localidad	1970			1990			2005		
	Un año	Dos años	Tres años	Un año	Dos años	Tres años	Un año	Dos años	Tres años
Rural	1.8	0.4	-	3.4	3.0	1.4	5.6	4.9	2.7
Urbano	2.1	0.5	0.1	4.1	3.4	1.6	6.0	5.1	2.8

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.38. Índice de analfabetismo por lengua indígena en relación a la inasistencia y a la permanencia corta en la escuela, 1970-2005

Lengua indígena	1970		1990		2005	
	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta
Hispanoparlante	78.0	0.9	70.3	1.1	79.6	1.2
Hablante	93.3	3.3	92.9	5.4	94.8	6.8

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.39. Proporción de analfabetas por lengua indígena en relación a la inasistencia y a la permanencia corta en la escuela, 1970-2005

Lengua indígena	1970		1990		2005	
	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta	Inasistencia	Permanencia Corta
Hispanoparlante	97.6	2.4	91.2	8.8	82.7	13.9
Hablante	98.0	2.0	92.8	7.2	84.9	12.9

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.40. Grados aprobados por los analfabetas que permanecieron por periodos cortos en la escuela por lengua indígena, 1970-2005

Lengua indígena	1970			1990			2005		
	Un año	Dos años	Tres años	Un año	Dos años	Tres años	Un año	Dos años	Tres años
Hispanoparlante	1.9	0.4	0.1	3.9	3.3	1.6	6.1	5.0	2.8
Hablante	1.6	0.4	-	3.1	2.8	1.3	5.1	5.1	2.7

FUENTE: Muestras de los Censos Generales de Población y Vivienda 1970 y 1990; y del Censo de Población y Vivienda 2005. Los datos del Censo son ponderados.

Cuadro A.41. Modelo de Regresión Logística Binaria aplicado a la probabilidad de ser analfabeta, 1970

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Sexo	.033	.056	.344	1	.558	1.033
10-19 años*			444.075	6	.000	
20-29 años	.191	.061	10.002	1	.002	1.211
30-39 años	.454	.065	48.995	1	.000	1.574
40-49 años	.707	.069	104.864	1	.000	2.028
50-59 años	.953	.080	140.593	1	.000	2.594
60-69 años	1.333	.086	237.980	1	.000	3.792
70-74 años	1.600	.136	137.929	1	.000	4.953
Rural-urbano	1.086	.030	1319.867	1	.000	2.963
Lengua indígena	.735	.064	131.104	1	.000	2.086
Región Norte*			275.606	2	.000	
Región Centro	.609	.042	207.764	1	.000	1.839
Región Sur	.769	.048	256.933	1	.000	2.157
10-19 años por sexo*			79.432	6	.000	
20-29 años por sexo	.315	.083	14.398	1	.000	1.370
30-39 años por sexo	.502	.088	32.416	1	.000	1.653
40-49 años por sexo	.618	.095	42.706	1	.000	1.855
50-59 años por sexo	.672	.111	36.738	1	.000	1.958
60-69 años por sexo	.687	.121	32.418	1	.000	1.988
70-74 años por sexo	.494	.198	6.248	1	.012	1.639
Lengua por sexo	.724	.091	63.941	1	.000	2.063
Constante	-2.962	.056	2824.027	1	.000	.052

* Categoría de referencia

FUENTE: Muestra probabilística de 1% del IX Censo General de Población y Vivienda 1970.

Cuadro A.42. Modelo de Regresión Logística Binaria aplicado a la probabilidad de ser analfabeta, 1990

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Sexo	-.088	.076	1.343	1	.247	.916
10-19 años*			1100.134	6	.000	
20-29 años	.285	.078	13.277	1	.000	1.329
30-39 años	.778	.077	102.049	1	.000	2.176
40-49 años	1.313	.078	285.481	1	.000	3.717
50-59 años	1.774	.080	489.309	1	.000	5.892
60-69 años	2.180	.087	632.749	1	.000	8.843
70-74 años	2.200	.135	266.060	1	.000	9.028
Rural-urbano	1.227	.032	1476.545	1	.000	3.411
Lengua indígena	.949	.062	236.925	1	.000	2.584
Región Norte*			382.535	2	.000	
Región Centro	.643	.048	178.318	1	.000	1.902
Región Sur	1.013	.052	377.701	1	.000	2.754
10-19 años por sexo*			93.083	6	.000	
20-29 años por sexo	.446	.105	18.201	1	.000	1.563
30-39 años por sexo	.648	.103	39.704	1	.000	1.912
40-49 años por sexo	.837	.104	64.851	1	.000	2.311
50-59 años por sexo	.753	.109	47.921	1	.000	2.122
60-69 años por sexo	.746	.118	40.222	1	.000	2.108
70-74 años por sexo	1.021	.179	32.354	1	.000	2.775
Lengua por sexo	.709	.081	77.250	1	.000	2.031
Constante	-4.518	.070	4187.366	1	.000	.011

* Categoría de referencia

FUENTE: Muestra probabilística de 1% del XI Censo General de Población y Vivienda 1990.

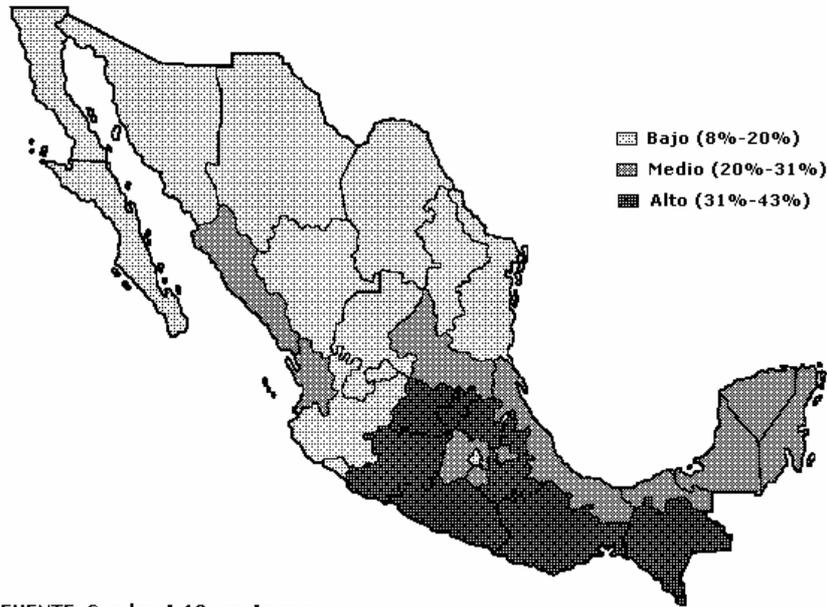
Cuadro A.43. Modelo de Regresión Logística Binaria aplicado a la probabilidad de ser analfabeta, 2005

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Sexo	-.365	.102	12.718	1	.000	.694
10-19 años*			1323.410	6	.000	
20-29 años	.514	.094	29.758	1	.000	1.673
30-39 años	.888	.090	96.376	1	.000	2.431
40-49 años	1.159	.092	157.021	1	.000	3.187
50-59 años	1.888	.090	442.848	1	.000	6.609
60-69 años	2.456	.089	753.700	1	.000	11.656
70-74 años	2.849	.115	614.598	1	.000	17.266
Rural-urbano	1.201	.033	1290.451	1	.000	3.323
Lengua indígena	.956	.063	232.272	1	.000	2.601
Región Norte*			458.770	2	.000	
Región Centro	.568	.052	121.278	1	.000	1.765
Región Sur	1.099	.055	405.335	1	.000	3.002
10-19 años por sexo*			107.105	6	.000	
20-29 años por sexo	.331	.133	6.229	1	.013	1.392
30-39 años por sexo	.523	.127	17.071	1	.000	1.687
40-49 años por sexo	.942	.127	55.339	1	.000	2.564
50-59 años por sexo	.892	.125	50.898	1	.000	2.440
60-69 años por sexo	.998	.126	62.662	1	.000	2.714
70-74 años por sexo	.998	.158	40.146	1	.000	2.714
Lengua por sexo	.687	.081	71.184	1	.000	1.987
Constante	-5.166	.084	3791.770	1	.000	.006

* Categoría de referencia

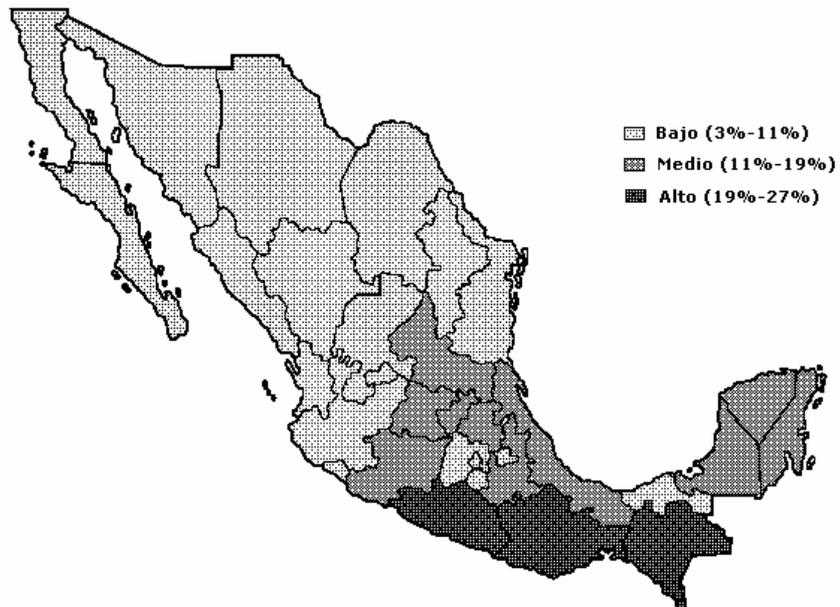
FUENTE: Muestra probabilística de 1% del II Censo General de Población y Vivienda 2005.

Mapa A.1. Índice de analfabetismo por entidad federativa, 1970



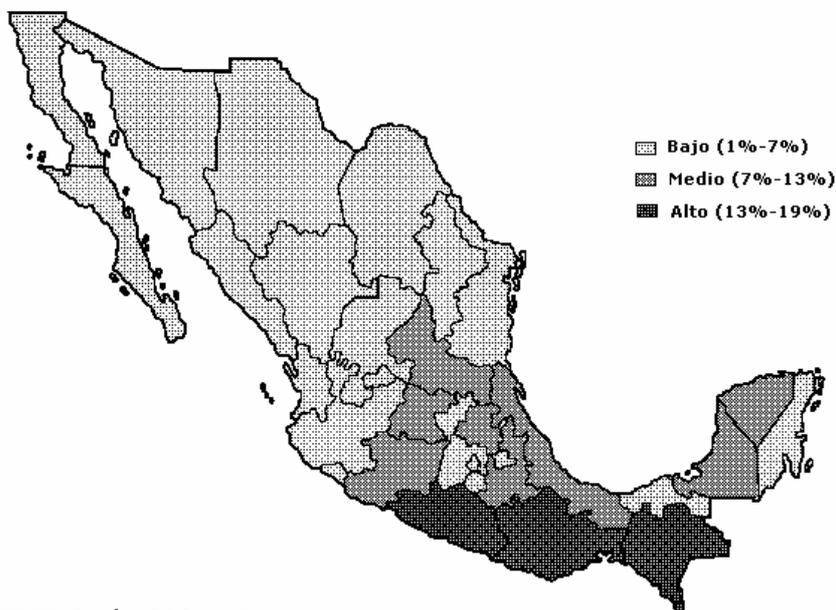
FUENTE: Cuadro A.10. en Anexo

Mapa A.2. Índice de analfabetismo por entidad federativa, 1990



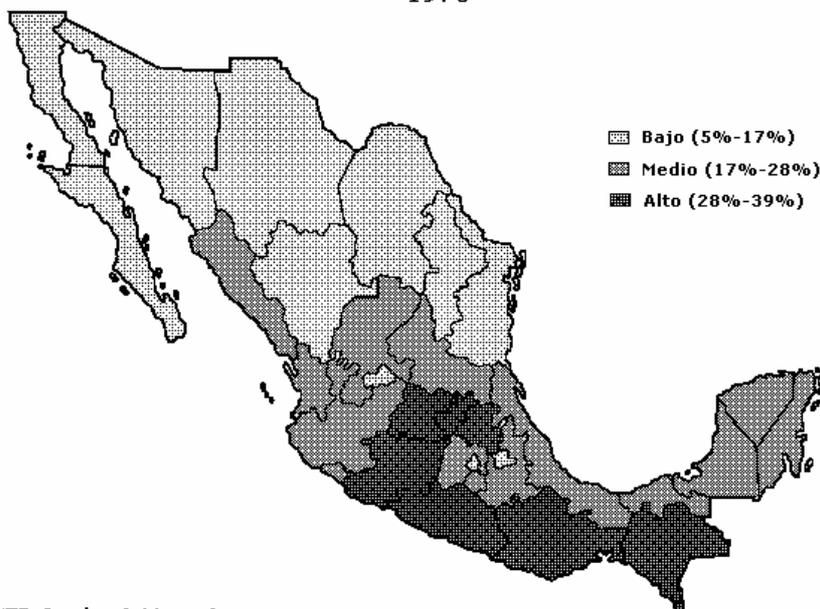
FUENTE: Cuadro A.10. en Anexo

Mapa A.3. Índice de analfabetismo por entidad federativa, 2005



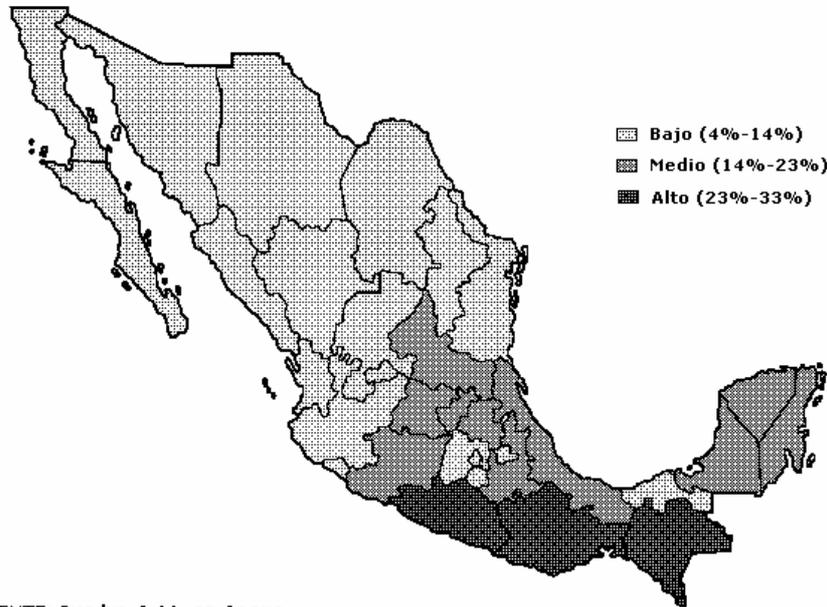
FUENTE: Cuadro A.10. en Anexo

Mapa A.4. Índice de analfabetismo en hombres por entidad federativa, 1970



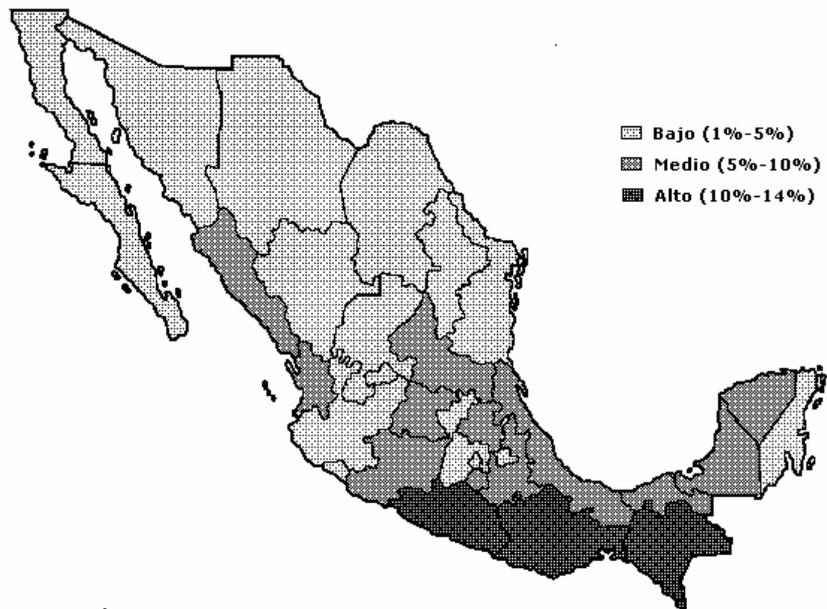
FUENTE: Cuadro A.11. en Anexo

Mapa A.7. Índice de analfabetismo en mujeres por entidad federativa, 1990



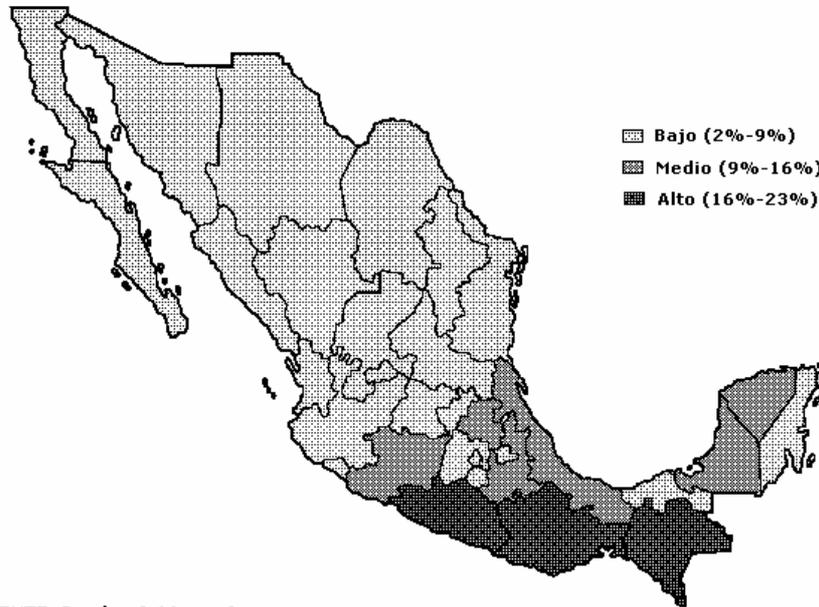
FUENTE: Cuadro A.11. en Anexo

Mapa A.8. Índice de analfabetismo en hombres por entidad federativa, 2005



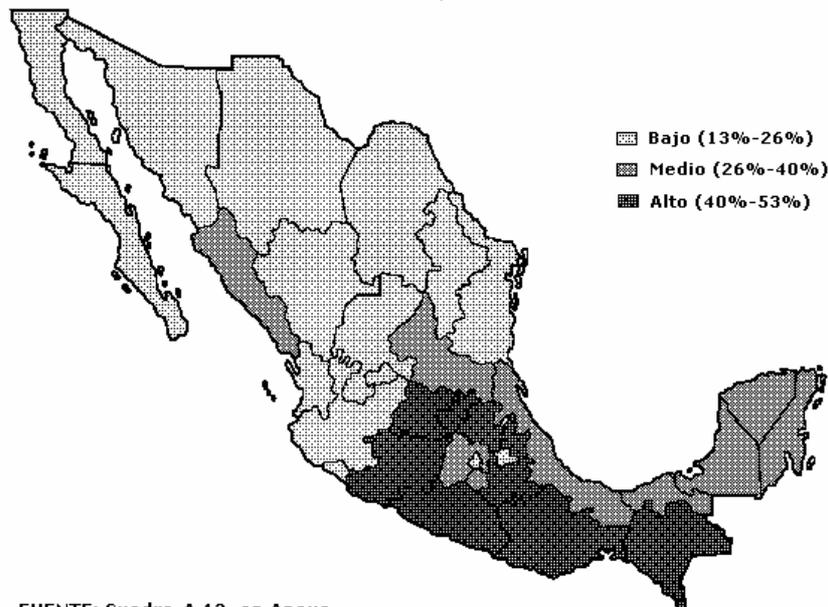
FUENTE: Cuadro A.11. en Anexo

Mapa A.9. Índice de analfabetismo en mujeres por entidad federativa, 2005



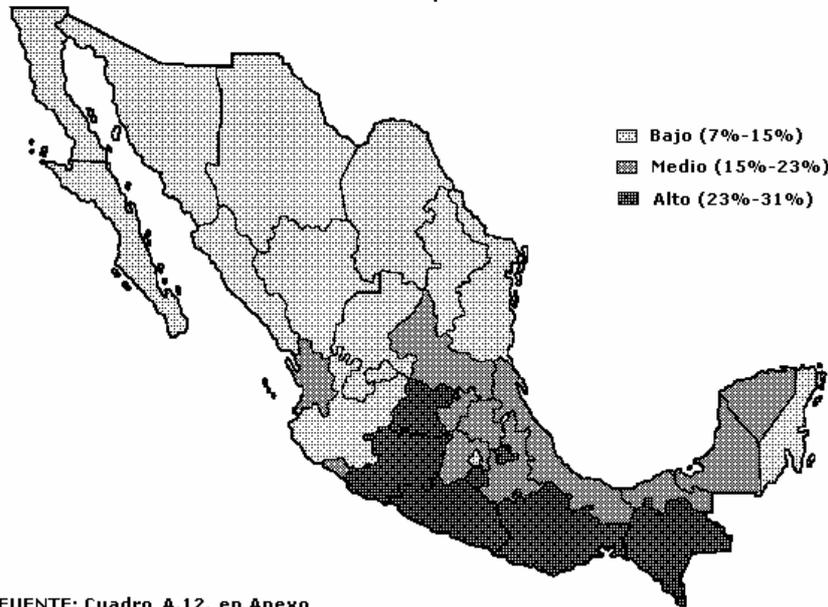
FUENTE: Cuadro A.11. en Anexo

Mapa A.10. Índice de analfabetismo en zonas rurales por entidad federativa, 1970



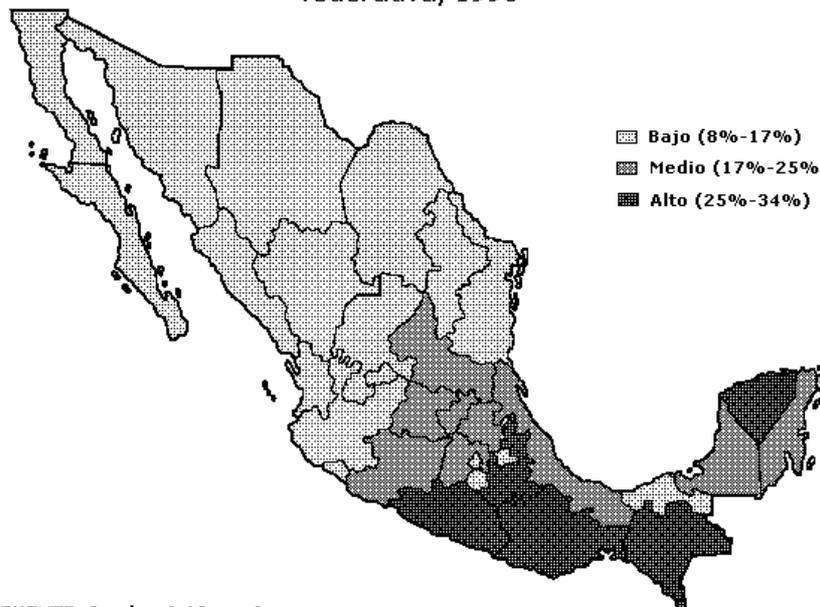
FUENTE: Cuadro A.12. en Anexo

Mapa A.11. Índice de analfabetismo en zonas urbanas por entidad federativa, 1970



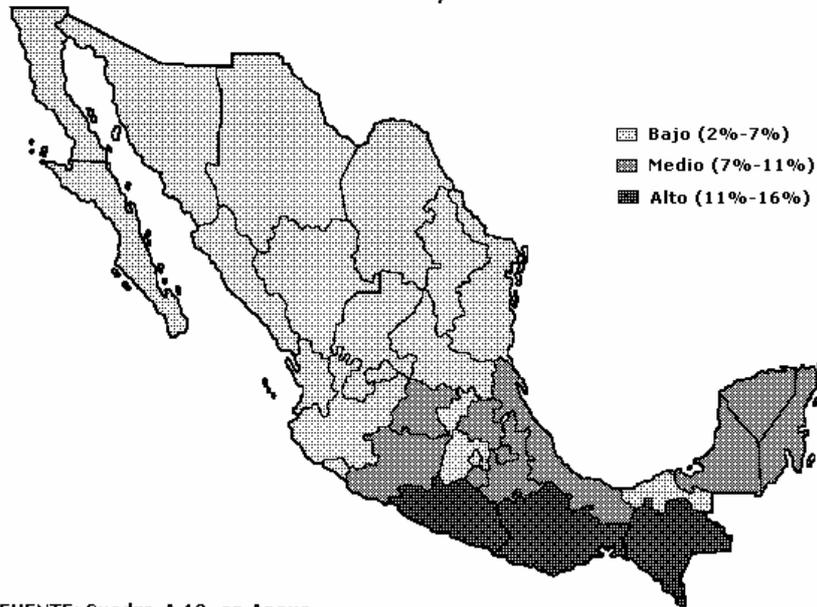
FUENTE: Cuadro A.12. en Anexo

Mapa A.12. Índice de analfabetismo en zonas rurales por entidad federativa, 1990



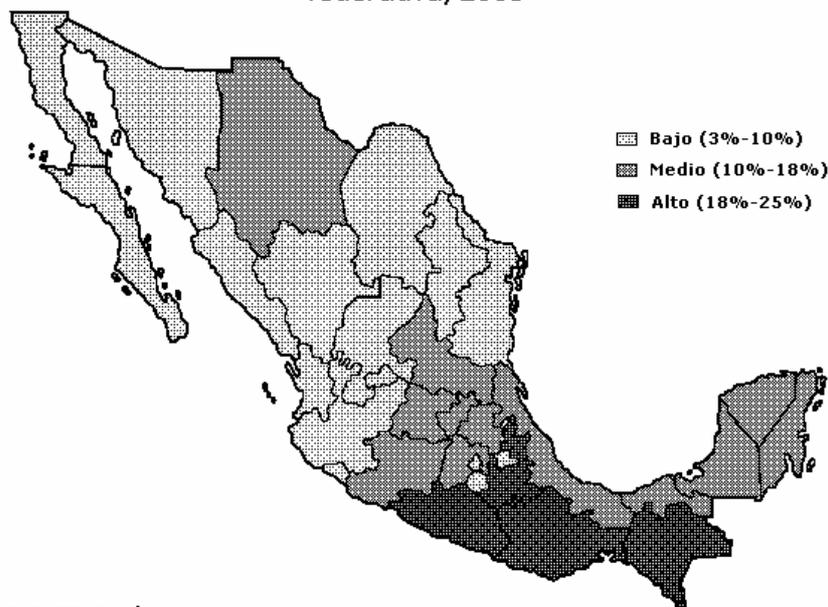
FUENTE: Cuadro A.12. en Anexo

Mapa A.13. Índice de analfabetismo en zonas urbanas por entidad federativa, 1990



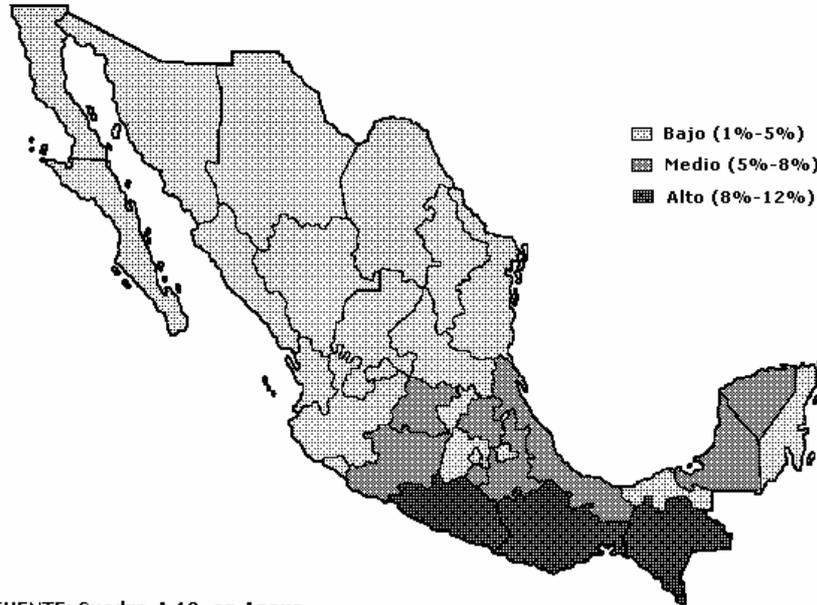
FUENTE: Cuadro A.12. en Anexo

Mapa A.14. Índice de analfabetismo en zonas rurales por entidad federativa, 2005



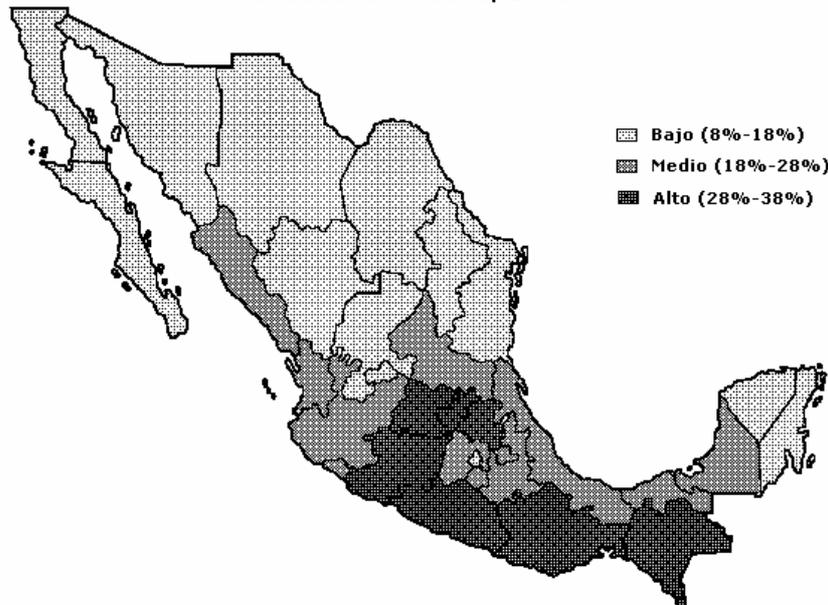
FUENTE: Cuadro A.12. en Anexo

Mapa A.15. Índice de analfabetismo en zonas urbanas por entidad federativa, 2005



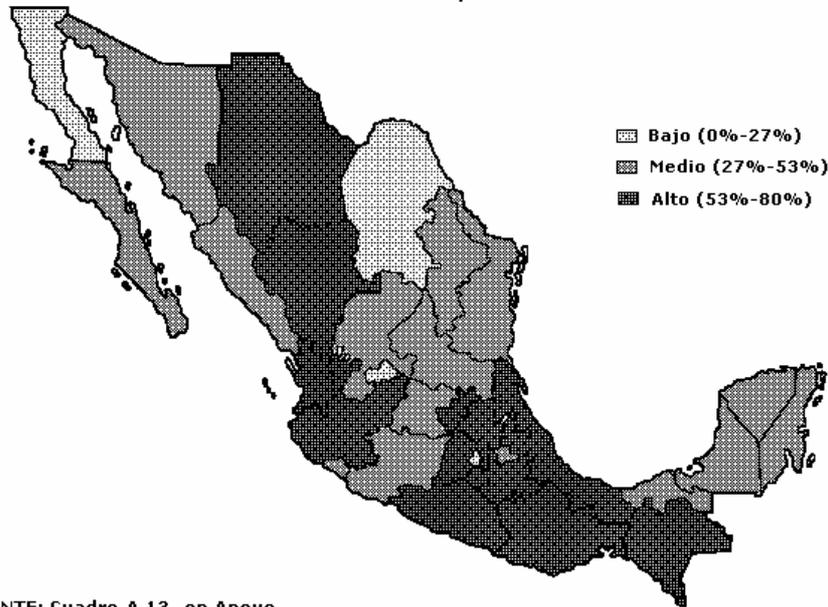
FUENTE: Cuadro A.12. en Anexo

Mapa A.16. Índice de analfabetismo en población hispanoparlante por entidad federativa, 1970



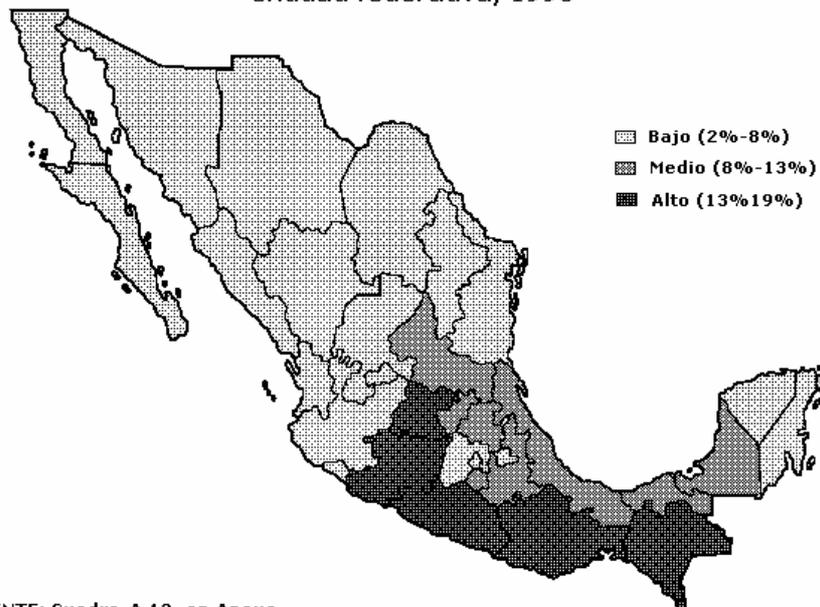
FUENTE: Cuadro A.13. en Anexo

Mapa A.17. Índice de analfabetismo en población hablante por entidad federativa, 1970



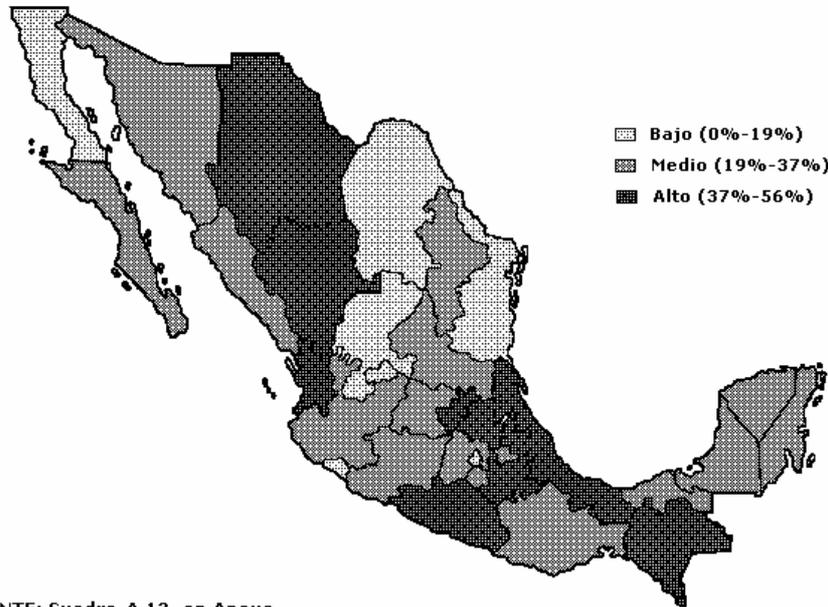
FUENTE: Cuadro A.13. en Anexo

Mapa A.18. Índice de analfabetismo en población hispanoparlante por entidad federativa, 1990



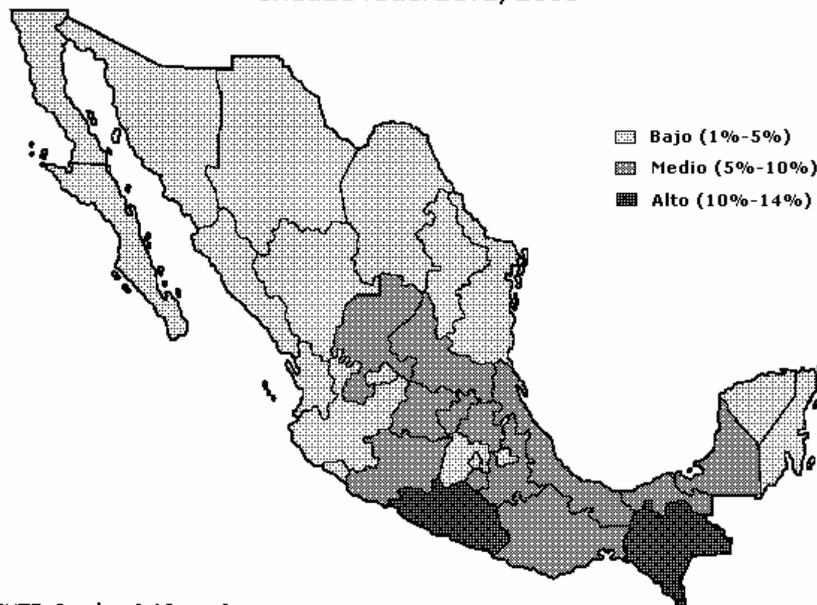
FUENTE: Cuadro A.13. en Anexo

Mapa A.19. Índice de analfabetismo en población hablante por entidad federativa, 1990



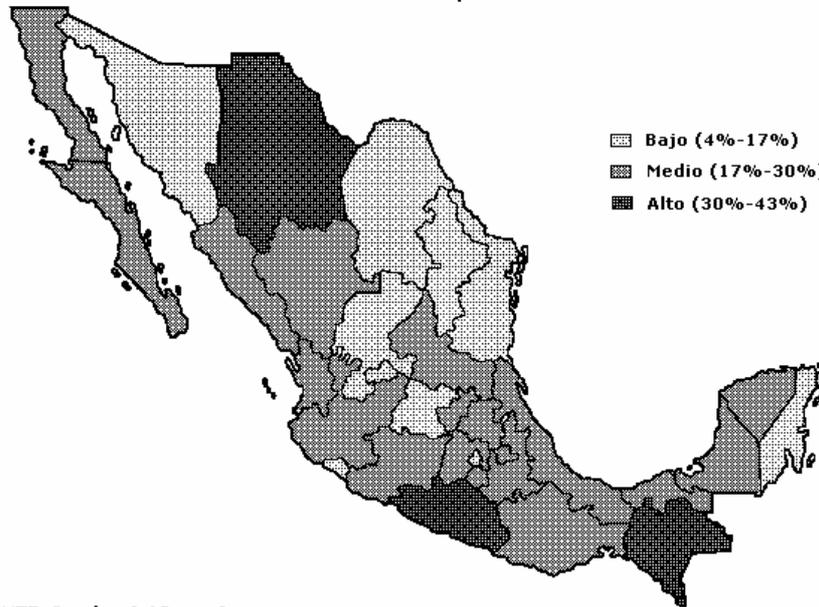
FUENTE: Cuadro A.13. en Anexo

Mapa A.20. Índice de analfabetismo en población hispanoparlante por entidad federativa, 2005



FUENTE: Cuadro A.13. en Anexo

Mapa A.21. Índice de analfabetismo en población hablante por entidad federativa, 2005



FUENTE: Cuadro A.13. en Anexo

BIBLIOGRAFÍA

1. **Álvarez**, Germán (1994), Sistema Educativo Nacional de México: 1994, Secretaría de Educación Pública y Organización de Estados Iberoamericanos, México D. F.
2. **Ander-Egg**, Ezequiel (1991), La educación de adultos como organización para el desarrollo social, Magisterio del Río de la Plata, Buenos Aires, Argentina.
3. **Arellano** Alegría, Aideé Rocío (2005), "La población infantil con discapacidad orgánica y los factores relacionados con su funcionamiento en el ámbito educativo" en Marta Mier y Terán y Cecilia Rabell (Coord), Jóvenes y niños: un enfoque demográfico, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Sociales, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Porrúa, México, pág. 339-371.
4. **Babbie**, Earl (1998), The Practice of Social Research, Octava Edición, Wadsworth Publishing Company, Westford, MA, Estados Unidos, págs. 101-102.
5. **Castrillón**, Silvia (2004), "El derecho a leer", El derecho a leer y a escribir, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Publicaciones, México, D. F., págs. 9-19.
6. **Chlebowska**, Krystyna (1990), El otro tercer mundo: La mujer campesina ante el analfabetismo, UNESCO, París, 152 pp.
7. **Ferreiro**, Emilia (2002), Los hijos del analfabetismo. Propuestas para la alfabetización escolar en América Latina, Octava Edición, Siglo XXI Editores, México, D. F., págs. 9-15.
8. **García** García, Alejandro y Sara Sánchez Sánchez (2000), Estudio cualitativo de la investigación sobre el analfabetismo funcional en México. Informe de investigación, Universidad Pedagógica Nacional, México, D. F., págs. 11-27.
9. **González** Cantú, René (2005), "Prospectiva al 2015 y 2030 de la alfabetización y educación básica y media superior en México", en Zúñiga Herrera, Elena, México ante los desafíos de desarrollo del milenio, Consejo Nacional de Población, México, págs. 263-284.
10. **Jabonero**, Mariano y Nieves López (s/f), Formación de Adultos, Editorial Síntesis, S.A., Madrid, España.
11. **Jaccard**, James y Robert Turrissi (2003), "Interaction Effects in Multiple Regression", Segunda Edición, en Sage University Papers Series: Quantitative Applications in the Social Sciences, no. 07-072, Sage Publications, Thousand Oaks, California, 92 pp.

12. **Latapí Sarre, Pablo y Manuel I. Ulloa (1998)**, "Alfabetismo y analfabetismo simple", "La educación de los adultos", Un siglo de educación en México, Tomo II, Fondo de Estudios e Investigaciones, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Fondo de Cultura Económica, México, D. F., págs. 59-73.
13. **Leiva, Eduardo (1981)**, "Situación educativa mexicana" en Antología de Educación de Adultos I y II, México, UNAM, SUAFYL, México, D. F.
14. **Mercè, Romans Siques y Guillem Viladot Voegli (s/f)**, La educación de las personas adultas, Paidós, México.
15. **Monclús, A. (1990)**, Educación de adultos. Cuestiones de planificación y didáctica, México.
16. **Ornelas, Carlos (1995)**, "La desigualdad en el Sistema Educativo Mexicano", El Sistema Educativo Mexicano, la transición de fin de siglo, Centro de Investigación y Docencia Económicas, Nacional Financiera, Fondo de Cultura Económica, México, D. F., págs. 207-233.
17. **Padua, Jorge (1979)**, El analfabetismo en América Latina. Un estudio empírico con especial referencia a los casos de Perú, México y Argentina, El Colegio de México, México, D. F., 192 pp.
18. **Ramírez Velázquez, Adriana (2005)**, "Algunas aplicaciones de los modelos de regresión logística", Tesis para optar por el grado de licenciatura en Actuaría, Universidad Nacional Autónoma de México, 108 pp.
19. **Rodríguez Gallardo, Adolfo (2006)**, "La lectura en México: una aproximación cuantitativa", Este País, Tendencias y Opiniones, Número 188, México, D. F., págs. 4-18.
20. **San Román Vázquez, Ángel y Carmen Christlieb Ibarrola (1994)**, Historia de la alfabetización y de la educación de adultos en México, Instituto Nacional para la Educación de los Adultos, México, D. F., 672 pp.
21. Unidad de Aprendizaje para las Escuelas Primarias, Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Estadística, Secretaría de Educación Pública, Departamentos Técnicos de Primaria **(1969)**, Censo General de Población y Vivienda 1970, México.
22. Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Estadística **(s/f)**, Memoria de los Censos Nacionales de 1970, Tomo II, México.
23. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática **(1995)**, Memoria del XI Censo General de Población y Vivienda 1990, México.
24. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática **(s/f)**, Características Metodológicas del II Conteo de Población y Vivienda 2005.

25. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, IX Censo General de Población y Vivienda 1970.
26. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, XI Censo General de Población y Vivienda 1990.
27. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, II Conteo de Población y Vivienda 2005.

VÍA INTERNET

1. **Martínez Rizo, Felipe (2005)**, "Reformas educativas: mitos y realidades", Revista Iberoamericana de Educación, <http://www.rieoei.org/rie27a02.htm>
2. **Miranda, Alejandro, Alfonso Bustos (2001-2005)**, "Comunicado 97 sobre Analfabetismo", Observatorio Ciudadano de la Educación, UNESCO, BINÉ, México, <http://www.observatorio.org/comunicados/comun097.html>
3. **Piñón Tovar, Eva María (Mayo, 2005)**, "La administración de la Educación Pública, en la época de la Revolución y pos Revolución en México", México, <http://psicoeducativa.iztacala.unam.mx/?q=node/47>
4. **Rodríguez Gómez, Roberto y Hugo Casanova Cardiel (2005)**, "Modernización incierta: Un balance de las políticas de educación superior en México", Perfiles Educativos, http://scielo.unam.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982005000000003
5. **Salgado Porcayo, Raymundo (2004)**, "El Analfabetismo en México 1895 al año 2000", Instituto Nacional de Estudios Políticos A. C., <http://www.inep.org/content/view/84/51/>
6. **Seda-Santana, Ileana (Octubre, 2000)**, "Investigación Sobre Alfabetización en América Latina: Contexto, Características y Aplicaciones", Reading Online, http://readingonline.org/articles/handbook/seda/spanish_index.html
7. **Venegas, Gloria (Mayo, 2005)**, "Historia de la Educación en México: Desfases en el desarrollo", México, <http://psicoeducativa.iztacala.unam.mx/?q=node/47>
8. **UNESCO (Septiembre, 2002)**, "La alfabetización en América Latina y el Caribe", http://portal.unesco.org/education/fr/ev.php-URL_ID=8520&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
9. <http://www.unne.edu.ar/CES/PRESENTACION%20DE%20ANALFABETISMO.pdf>