



Universidad Autónoma de Baja California



Faculta de Ciencias

Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

EVALUACIÓN DE ZONAS DE RIESGO A LA SALUD POR
EXPOSICIÓN A BTEX EN POBLACIÓN RESIDENTE CERCANA A
ESTACIONES DE SERVICIO EN EL ÁREA URBANA DE TIJUANA,
B.C.

TESIS

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

Victor Wagner Barajas Carrillo

HOJA DE FIRMAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

“EVALUACIÓN DE ZONAS DE RIESGO A LA SALUD POR EXPOSICIÓN A
BTX EN POBLACIÓN RESIDENTE CERCANA A ESTACIONES DE SERVICIO
EN EL ÁREA URBANA DE TIJUANA, B.C.”

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

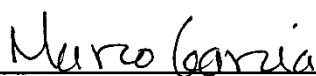
Victor Wagner Barajas Carrillo



Dra. María Evarista Arellano García
Directora de tesis



Dr. Horacio E. Almanza Reyes
Codirector



M.C. Marco Antonio García Zárate
Sinodal

INSTITUCIONES PARTICIPANTES

Universidad Autónoma de Baja California



Facultad de Ciencias



Facultad de Medicina y Psicología



CONACYT



RESUMEN

El presente trabajo propone una estrategia de reducción del riesgo en población residente cerca de estaciones de servicio por exposición a compuestos orgánicos denominados BTEX en el área urbana de Tijuana, Baja California. Se elaboró una base de datos con información de las estaciones de servicio operativas hasta el 2012, la cual fue asignada junto a los datos de áreas geoestadísticas básicas (AGEB) a un sistema de información geográfico (SIG). Se diseñó un mapa que mostró las áreas de afectación con base a emisiones de benceno y su valor de concentración de peligro inmediato para la vida o la salud (IDLH) las cuales tomaron como punto de origen las estaciones de servicio. Se midió el daño citotóxico y genotóxico por medio de la técnica de micronúcleos y anomalías nucleares en epitelio bucal en población residente expuesta y no expuesta a cercanías a estaciones de servicio, se relacionó con su estilo de vida, salud, alimentación y síntomas neuroconductuales. A continuación se generó un mapa de zonas de riesgo que contempla datos de viento, temperatura y concentración de contaminante por medio del método de ponderación inversa a la distancia (IDW). Y finalmente se propone una estrategia de mitigación para emisiones dispersas provenientes de las estaciones de servicio. La población bajo estudio estuvo compuesta de dos grupos: expuestos y no expuestos subdivididos según su género. Los resultados mostraron que la población expuesta presentó un mayor número de anomalías nucleares, entre ellas destacan picnosis, cariorrexis y células binucleadas con un promedio de $M = 24.36 \pm 3.48$ $F = 37.17 \pm 30.05$, $M = 23.82 \pm 7.32$ $F = 15.67 \pm 10.59$ y $M = 16.00 \pm 2.89$ $F = 12.25 \pm 5.31$ respectivamente; en el caso de los síntomas neuroconductuales los valores más altos fueron presentados por Concentración y memoria [DK] seguido por Síntomas neurológicos [N] y Astenia [A]. Para determinar si existe relación entre el daño genotóxico y los síntomas neuroconductuales y el nivel de exposición se realizó un análisis de conglomerados con el método de Ward y 1 -r de Pearson, lo cual arrojó dos dendrogramas, que demuestran la relación entre el daño genotóxico y el nivel de exposición a una distancia de 0.4272 unidades, al igual que la relación entre algunas anomalías neuroconductuales con el nivel de exposición a la distancia de 1.089 unidades. El mapa producto de la

interpolación identifica nueve sectores de riesgo debido al fenómeno conocido como isla de calor (UHI). Para la propuesta dirigida a la mitigación de emisiones provenientes de las estaciones de servicio se propone la implementación de recuperadores de vapor de fase II, los cuales tienen el beneficio de reducir estas emisiones hasta un 85% que representa una opción de inversión a mediano plazo ya que los vapores de gasolina recuperados pueden volver a ser condensados y vendidos como combustible.

PALABRAS CLAVE:

Daño genotóxico, gasolina, benceno, área de afectación, citómico, Tijuana, estaciones de servicio, SIG, contaminación, riesgo, micronúcleo, anomalía nuclear.

ABSTRACT

The present work proposes a strategy for risk reduction in resident population near fuel stations by exposure to organic compound called BTEX in the urban area of Tijuana, Baja California. We developed a data base with information from operating service stations until 2012, which was assigned next to the data of Basic Geostatistical Area (AGEB, Spanish acronym) to a geographic information system (GIS). We designed a map showing involvement areas based on benzene emissions and its Immediately Dangerous to Life or Health (IDLH) concentration which took as a point of origin service stations. Cytotoxic and genotoxic damage was measured by the micronuclei technique and nuclear anomalies in epithelium buccal smears in resident population exposed and not exposed to nearby service stations, related to their style of life, health, food and neurobehavioral symptoms. Later we generated a map with risk areas which includes wind direction, temperature and contaminant concentration by the method of weighted inverse distance (IDW) and finally proposed a mitigation strategy for dispersed emissions from service stations. The population under study was composed of two groups: exposed and unexposed subdivided according to their gender. The results showed that the exposed population showed a greater number of nuclear anomalies, among them pyknosis, karyorrhexis and binucleated cells with mean $\pm$ standard deviation: M = 24.36 ± 3.48 F = 37.17 ± 30.05 , M = 23.82 ± 7.32 F = 15.67 ± 10.59 and M = 16.00 ± 2.89 F = 12.25 ± 5.31 respectively; in the case of neurobehavioral symptoms high values were presented by concentration and memory [DK] followed by [N] neurological symptoms and weakness [A]. To determine whether there is a relationship between genotoxic damage, neurobehavioral symptoms and exposure levels was conducted an cluster analysis with the Ward method and Pearson 1 -r which threw two dendrograms, showing the relationship between the genotoxic damage and the level of exposure to a distance of 0.4272 units, as well as the relationship between certain anomalies neurobehavioral with the level of exposure to the distance of 1,089 units. Interpolation map identifies nine areas of risk due to the phenomenon known as urban heat island (UHI). The implementation of recovery phase II vapour, which have the benefit of reducing

these emissions up to 85% which represents a choice of investment medium-term since the recovered fuel fumes can again be condensed and sold as fuel was proposed for the suggestion aimed at the mitigation of emissions from service stations.

KEYWORDS

Genotoxic damage, gasoline, benzene, area affected, cytotoxic, Tijuana, service stations, GIS, pollution, risk, micronucleus, nuclear anomaly.

DEDICATORIA

Dedico esta Tesis a Jorge Antonio Avelino Aguilera, Guillermo Oñate Angulo, Carmen E. Carrillo González, Isabel Noriega Escurdia, María Evarista Arellano García, Jose Jack Barajas Carrillo, Maria Luisa Uribe Meza y Ānanda, ya que en incontables veces sin importar el día u hora han estado a mi lado de distintas maneras y gracias a esos momentos se ha concluido este paso tan importante en mi vida tanto profesional y personal.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a la MC. Rosa Esthela González flores, los doctores Jesús Bernardino Velázquez Fernández, Bernabé Ríos Nava y Alberto Madueño Molina ya que con su guía, apoyo y paciencia y fue posible comenzar esta etapa en mi desarrollo académico.

También doy gracias al Dr. José Guillermo Rodríguez Ventura[†], Dra. Olivia Torres-Bugarín, M.C. Marco García Zárate y Dr. Horacio Almanza Reyes ya que durante incontables veces tuvieron la paciencia, para atender mis inquietudes por más simples que fueran.

A mi posgrado MEZA y mis maestros, Dra. María Evarista Arellano García, M.C. Patricia Margarita Aceves Calderón, Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal, Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera, M.C. Bernardino Ricardo Eaton Gonzalez y Dr. José Luis Fermán Almada, que desde hace dos años formo parte de esta gran familia

Un agradecimiento especial a mis compañeros de generación, Susana Alfaro Sánchez, Jorge Alberto Andrade Sánchez, Gabriela de la Peña Nettel, Samantha Dannet Díaz De León Guerrero, Cecilia Esther Jiménez Velasco, Naúm Lugo Ríos, Yessica Edith Medina Castro, Mercedes Imelda Meza Arce, Guillermo Oñate Angulo, Saúl Octavio Salgado Méndez, Karen Mitzi Trejo Ramos, Maria Luisa Uribe Meza, Damian Valles Cañedo y Luned Hernández Uribe.

A las instituciones las cuales me han formado, La Universidad Autónoma de Nayarit y la Universidad Autónoma de Baja California, las cuales estoy encantado de pertenecer a ellas.

Finalmente se agradezco el apoyo económico brindado por CONACyT, con el Número 361223 y al proyecto 00/481/FC/UABC para la realización de este trabajo.

Gracias a todos...

ÍNDICE

HOJA DE FIRMAS	I
INSTITUCIONES PARTICIPANTES	II
RESUMEN	III
PALABRAS CLAVE:	IV
ABSTRACT	V
KEYWORDS	VI
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE CUADROS.....	XII
SIGLAS Y ABREVIATURAS	XIII
I INTRODUCCIÓN	17
II ANTECEDENTES	22
2.1 Biomonitorio del daño	22
2.2 El ensayo de micronúcleos	23
2.3 Bases teóricas del uso de la técnica de micronúcleos y otras anomalías celulares	24
2.4 Descripción de la morfología de las células epiteliales	26
2.5 Descubrimiento y evolución del uso de la gasolina.....	30
2.6 Marco legal en México	35
III MARCO CONCEPTUAL	36
3.1 El manejo ambiental de riesgos para la salud.....	36
3.2 Salud genómica	38
3.3 Citotoxicidad, genotoxicidad, toxicología genética y evaluación del daño genotóxico.	38
3.3.1Toxicología genética	38
3.3.2 Evaluación del daño genotóxico	39
IV OBJETIVOS E HIPÓTESIS	40
4.1 Objetivo general	40
4.2 Objetivos específicos	40
V HIPÓTESIS	40
VI METODOLOGÍA.....	41

6.1 El sitio de estudio: Tijuana, Baja California	41
6.2 Estaciones de servicio y AGEB	42
6.3 Diseño de áreas de afectación	43
6.4 Monitoreo de daño citotóxico, genotóxico y síntomas neuroconductuales	45
6.5 Identificación de zonas de riesgo	50
6.7 Procedimiento para el desarrollo de la propuesta de manejo	51
VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
7.1.1 Características de la población bajo estudio.....	53
7.2.1 Estaciones de servicio y población total del estado de Baja California	54
7.2.2 Áreas de afectación por proximidad a estaciones de servicio.	57
7.2.3 Evaluación del daño citotóxico, genotóxico y Cuestionario de Síntomas neuroconductuales	62
7.2.3.2 Correlación del daño, síntomas neuroconductuales entre los indicadores sociodemográficos	64
7.2.4 Modelo de viento, dispersión del contaminante y delimitación de áreas de afectación.....	68
7.2.5 Propuesta de manejo.....	70
VIII CONSIDERACIONES FINALES Y RECOMENDACIONES DE MANEJO	74
IX CONCLUSIONES	75
X REFERENCIAS	77
ANEXOS	82
ANEXO 1.....	82
ANEXO 2.....	83
ANEXO 3.....	87
ANEXO 4.....	89
ANEXO 5.....	91
ANEXO 6.....	95
Anexo 7	98
Anexo 8	109

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Rutas postuladas del origen de las distintas anomalías nucleares. Las líneas punteadas representan un origen incierto. Modificado de Tolbert, Shy y Allen (1991)</i>	26
<i>Figura 2. Morfología de células de epitelio bucal y diversas anomalías nucleares con tinción de orceína verde rápido a 100X (Micrograffías por Victor Wagner Barajas Carrillo ©)</i>	29
<i>Figura 3. Estructuras moleculares de los BTEX; 1) benceno, 2) tolueno, 3) etilbenceno, 4) orto-xileno, 5) meta-xileno y 6) para-xileno.</i>	34
<i>Figura 4. Área de estudio, Tijuana, Baja California. Elaboración propia</i>	42
<i>Figura 5. Metodología general para obtención de células de epitelio bucal, extendido, fijado, tinción, contratinción, limpieza y lectura. Tomado de Idalia Castañeda® con modificaciones propias para este estudio.</i>	49
<i>Figura 6. Estaciones de servicio con ventas en litros del 2012 categorizadas de menor a mayor dentro del área urbana de Tijuana.</i>	55
<i>Figura 7. Estaciones de servicio distribuidas en el área urbana de Tijuana.</i>	56
<i>Figura 8. Estaciones de servicio distribuidas dentro del área urbana de Tijuana Baja California categorizadas por su venta en litros durante 2012, AGEB.</i>	57
<i>Figura 9. Estaciones de servicio categorizadas bajo su nivel de emisión de COVs durante 2012 y AGEB.</i>	58
<i>Figura 10. Areas de afectación teóricas generadas a partir del IDLH de benceno.</i>	60
<i>Figura 11. Incidencia de síntomas psiconeurologicos; inestabilidad psiconeurovegetativa [PsN], síntomas neurológicos [N], astenia [A], irritabilidad [E], y concentración y memoria [DK].</i>	64
<i>Figura 12. Dendrograma de relación entre variables sociodemográficas e indicadores de daño citotóxico y genotóxico.</i>	65
<i>Figura 13. Dendrograma de relación entre variables psiconeurológicas e indicadores de daño citotóxico y genotóxico.</i>	66
<i>Figura 14. Áreas de afectación dentro el área urbana de Tijuana generadas con la unión de los datos de viento, temperatura media y emisión de benceno.</i>	69
<i>Figura 15. Recuperador de vapor de fase II incorporado a la pistola de despacho de gasolina (foto por Guillermo Oñate ©).</i>	72
<i>Figura 16. Áreas de afectación teóricas con el implemento del recuperador de vapor de fase II.</i>	72

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Características sociodemográficas de la población bajo estudio</i>	<i>54</i>
<i>Cuadro 2. Municipios del estado de Baja California, estaciones de servicio habitantes y respectivos porcentajes.</i>	<i>54</i>
<i>Cuadro 3. Intervalos de emisión de COVs y benceno anuales y diarias.....</i>	<i>59</i>
<i>Cuadro 4. Localidades urbanas, superficie, AGEB, población y riesgo por emisiones de benceno.....</i>	<i>61</i>
<i>Cuadro 5. Porcentajes y superficie en riesgo por benceno.</i>	<i>61</i>
<i>Cuadro 6. Promedios generales de distintas anomalías nucleares expresados por 2000 células y su error estandar.....</i>	<i>63</i>
<i>Cuadro 7. Incidencia de los síntomas pisconeuroológicos</i>	<i>64</i>
<i>Cuadro 8. Tamaño de área más próxima a la estación de servicio y el total de la isla de calor, ambos expresados en kilómetros cuadrados (Km²).....</i>	<i>69</i>
<i>Cuadro 9. Actores potenciales identificados para el desarrollo de la propuesta para la mitigación de emisiones fugitivas provenientes de las estaciones de servicio.....</i>	<i>71</i>
<i>Cuadro 10. Escenario actual y con implemento del recuperador de vapor de fase II (RV FII) y su reducción en las emisiones durante un año y un día de labor.</i>	<i>72</i>

SIGLAS Y ABREVIATURAS

°C graos centígrados

A astenia

AAb área de afectación por emisiones de benceno

ADN ácido desoxirribonucleico

AGEB área geoestadística básica

AGEBR área geoestadística básica en riesgo

AN anomalías nucleares

Apo apoptosis

ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry

B12 cobalamina

B9 ácido fólico

Blvd. Boulevard o bulevar

BMCyt assay buccal micronucleus cytome assay

BN células binucleadas

BS células basales

BSk clima mediterráneo seco

BTEX benceo, tolueno, etilbenceno y xilenos

BUD células con brotes nucleares

CAS chemical abstracts service

CATASTRO Dirección de Catastro

CC cromatina condensada

CEMDA Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C.

CICESE Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

CL cariolisis

COFEPRIS Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios

COLEF Colegio de la Frontera Norte

CONAGUA Comisión Nacional del Agua

COVs compuestos orgánico volátiles

CP código postal

CPA compuestos policíclicos aromáticos

Ctt citotoxicidad total

DAU Dirección de Administración Urbana

DDT dicloro difenil tricloroetano

Dgt. daño genotóxico total

Dieta dieta

DK concentración y memoria

DOIUM Dirección de Obras e Infraestructura Urbana Municipal

DPA Dirección de Protección al Ambiente

DSPM Dirección de Servicios Públicos Municipales

dTMP desoxitimidin monofosfato

dUMP desoxiuridin monofosfato

E irritabilidad

EPA Environmental Protection Agency

F femenino

g gramo

Gob BC Gobierno de Baja California

HUMN(XL) HUman MicroNucleus project on eXfoLiated buccal cells

IARC International Agency for Research on Cancer

IDLH Immediately Dangerous to Life or Health

IDW inverse distance weighted interpolation

IMC índice de masa corporal

IMPLAN Instituto Metropolitano de Planeación de Tijuana

INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía

ISDR International Strategy for Disaster Reduction

ISESALUD Instituto de Servicios de Salud Pública de Baja California

Kfe constante de factor de emisión

Kfeb constante de factor de emisión de benceno

kg L-1 kilogramos por litro

km kilometro

km² kilómetro cuadrado

KR cariorrexis

LGEEPA Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

LGPC Ley General de Protección Civil

m metro

M masculino

MARSH manejo ambiental de riesgos para la salud humana

BM cyt Buccal Micronucleus Cytome assay

ml mililitro

mm milimetro

MMA ácido metilmalónico

MMCoA Mutasa metilmalonil CoA mutasa

MN células con micronúcleos

MNBC micronúcleos en linfocitos de sangre periférica por bloqueo de la citocinesis

MNi micronúcleos

MTBE metil tert-butil éter

MTHFR metilen-tetrahidrofolato reductasa

MTR metionina sintasa

N síntomas neurológicos

Nec. Necrosis

nm nanómetro

NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health

Niv. ex. nivel de exposición

NL núcleo lobulado

No. Es. número de identificación de cada estación de servicio

NOM Norma Oficial Mexicana

OMS Organización Mundial de la Salud

ONG organización no gubernamental

P.N.F. síntomas sicológicos
neurológicos

PC picnosis

PEMEX Petróleos Mexicanos

Pob. Población

PobR población en riesgo

PROMUM Fideicomiso Promotora
Municipal de Tijuana

PsN inestabilidad
psiconeurovegetativa

Qgis Quantum GIS

ROS especies reactivas de oxígeno

RV FII recuperador de vapor de fase
II

Salud salud

SAM S-adenosil metionina

SDUE Secretaría de Desarrollo
Urbano y Ecología

SEMARNAT Secretaría de Medio
Ambiente y Recursos Naturales

SENER Secretaría de Energía

SIDUE Secretaría de Infraestructura
y Desarrollo Urbano del Estado

SIG sistema de información
geográfico

SLU superficie de la localidad
urbana

SLUR superficie de la localidad
urbana en riesgo

SMR superficie municipal en riesgo

SPABC Secretaria de Protección
Ambiental

SRC sistema de referencia de
coordenadas

SSA Secretaría de Salud

TB tuberculosis

TEP tetraetilo de plomo

TNF- α factor de necrosis tumoral
alfa

UABC Universidad Autónoma de
Baja California

UHI Urban Heat Island

UTM Universal Transversa de
Mercator

VHB virus de hepatitis B

VHC virus de hepatitis C

Vida vida

VIH virus de la inmunodeficiencia
humana

μ g microgramo

Alle Dinge sind Gift, und nichts ist ohne Gift. Allein die Dosis macht, daß ein Ding kein Gift ist.

Todo es veneno, nada es sin veneno. Solo la dosis hace que, una cosa no sea veneno.

Paracelso
(1493-1541)

I INTRODUCCIÓN

Este trabajo aporta un análisis de los riesgos para la salud, como consecuencia de las emisiones contaminantes que provienen de las estaciones de servicio que despachan gasolina para los automóviles en la zona urbana de Tijuana. A través de un diseño de casos y controles, se midieron efectos como el riesgo genotóxico y citotóxico con el ensayo de micronúcleos en epitelio bucal, así como la percepción de síntomas neuroconductuales mediante un cuestionario validado en personas residentes de las proximidades a las gasolineras (1). También se recopiló información de las emisiones de cada gasolinera en bases de datos proporcionadas por Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la Secretaría de Energía (SENER), así como datos de población del Instituto Nacional de Estadística, Geografía Informática (INEGI). Con toda la información recabada se construyeron escenarios mediante un sistema de información geográfico (SIG) para analizar los riesgos para la salud y modelar algunas alternativas de mitigación.

En la actualidad el ser humano está expuesto a una importante mezcla de contaminantes que por su naturaleza pueden ocasionar problemas para la salud; uno de estos contaminantes es gasolina, la cual es una mezcla altamente compleja conformada por alrededor de 1000 sustancias y que de 25 a 30 % pertenecen a la serie de los compuestos aromáticos, los cuales figuran el benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos; estos son conocidos bajo el acrónimo de BTEX donde el primero, debido a su toxicidad es catalogado por La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) dentro de los compuestos carcinógenos para humanos (2).

Las estaciones de servicio, conocidas como gasolineras, son la fuente puntual de exposición a gasolina dentro de las zonas urbanas, ya que durante el proceso de despachar el combustible al tanque de los automóviles, las bombas expendedoras desplazan vapores acumulados, los cuales escapan a la atmósfera y contaminan sus alrededores.

Aunque algunos componentes de la gasolina puedan desencadenar diversos padecimientos para la salud, el marco legal mexicano no contempla en leyes o normas concretas dirigidas al control de las emisiones en las gasolineras y su normatividad solo se limita a aspectos técnicos de manejo y operación, pero no se definen reglamentos claros que permitan proteger la salud de los residentes y del personal ocupacionalmente expuesto.

Después de efectuar un biomonitoreo de los efectos genotóxicos, citotóxicos y neurológicos en población expuesta, se encontró mediante un análisis de proximidad geográfica, que estos efectos en la salud se relacionan con las emisiones fugitivas provenientes de las gasolineras y sus consecuencias a la salud de la población residente cercana a ellas, situación que ha ido en aumento debido al acelerado ritmo de crecimiento poblacional en esta ciudad fronteriza, así como la demanda de combustibles para satisfacer los requerimientos para su movilidad.

Se propone y modela una estrategia de manejo que consiste en la instalación de recuperadores de vapores en las pistolas despachadoras de gasolina, que permitirá disminuir los riesgos para la salud y el ambiente mediante la reducción de las emisiones a la atmósfera, de estas instalaciones urbanas y al mismo tiempo permite a los empresarios, no solo recuperar los costos de inversión que supone la adopción de las medidas, sino que en corto y mediano plazo les generarán ganancias extras por recuperación de gasolina. Se espera que este trabajo sea de utilidad para la toma de decisiones a la hora de efectuar la construcción de nuevas estaciones de servicio y proponer a los empresarios una estrategia que les permita tanto controlar sus emisiones como recuperar la inversión que requieran para actualizar sus bombas expendedoras.

El documento se estructuró en varias secciones. En la primera se plantea, desde el punto de vista del manejo de ecosistemas, el problema de las emisiones de las gasolineras y sus efectos en la salud, los antecedentes que permiten acceder a todas las aristas del problema planteado y el marco teórico que aborda todos los tecnicismos que fue necesario puntualizar para abordar

este complejo problema, el cual culmina con el planteamiento de los objetivos y la hipótesis del trabajo.

La segunda sección contiene la metodología, donde se describe el sitio donde se desarrolló el estudio, los procedimientos para ubicar las gasolineras dentro de las áreas geoestadísticas básicas (AGEB) en Tijuana, y cómo se diseñaron las áreas de afectación. Esta segunda sección también describen las técnicas para el monitoreo del daño genotóxico y citotóxico, así como las estrategias para la aplicación del cuestionario de síntomas psiconeurológicos. Al final de esta sección se encuentra la metodología para la identificación de zonas de riesgo y el procedimiento para el desarrollo de la propuesta de manejo.

Los resultados se encuentran en una tercera sección, donde se describen los hallazgos en cuanto a las características de la población bajo estudio, las estaciones de servicio y las áreas de afectación por proximidad a estaciones de servicio. También se presentan los resultados de la evaluación del daño citotóxico, genotóxico y del cuestionario de síntomas neuroconductuales, así como las correlaciones de éstos con los indicadores sociodemográficos y los diferentes modelos de riesgo de dispersión del contaminante y delimitación de áreas de afectación, para finalmente culminar con el procedimiento a partir de cual se desarrolló la propuesta de manejo.

La cuarta sección presenta una discusión general que integra la interpretación de los hallazgos, con base en la cual se desarrollaron algunas consideraciones y las conclusiones finales.

1.1 Planteamiento del problema

El interés por abordar la contaminación ambiental va en aumento en las últimas décadas debido a los problemas que ocasiona a los ecosistemas y que repercuten en la calidad de vida de las personas, especialmente en lo que respecta a la salud.

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs), son sustancias orgánicas con una alta presión de vapor, bajo punto de ebullición y están formadas por carbono y otros elementos, muchas especies vegetales y animales emplean estas sustancias a manera de mensajeras al igual que de defensa (3). En el caso concreto de las actividades humanas, las áreas urbanas destacan por la elevada producción de estas lo cual es provocado por el uso de vehículos y otros equipos que operan con maquinaria de combustión interna.

La fuente de contaminación atmosférica relacionada directamente con la industria automotriz es la gasolina, que es una mezcla compleja de hidrocarburos de bajo peso molecular obtenida a partir del proceso de refinación del petróleo, pues no existe de manera natural en el medio ambiente (4). La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) clasifica a esta mezcla bajo posible carcinógeno para humanos (2B) (5). Debido a su naturaleza orgánica, entre un 25 a 30% se compone de sustancias pertenecientes a la serie de los compuestos aromáticos, donde figuran el benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos conocidos bajo el acrónimo BTEX, que son contaminantes atmosféricos de bajo estrato y en la actualidad son esenciales para el correcto funcionamiento de la mayoría de los vehículos de combustión interna (6) (7).

No es posible separar el estado de salud de las personas del medio ambiente en el que se encuentran inmersas, junto con las demás especies y sus intrincadas interacciones con los factores físicos, químicos, biológicos, sociales, económicos y culturales, que pudieran tener la capacidad potencial de causar un efecto ya sea a corto o largo plazo (8). En el caso de la exposición a vapores de gasolina, las manifestaciones agudas son muy evidentes en las

personas afectadas, ya que se producen espasmos, erupciones en la piel, fallas respiratorias o cardíacas e incluso la muerte. Mientras que, los efectos a largo plazo en cambio, resultado de la exposición crónica a pequeñas dosis que de manera imperceptible para la persona deterioran de manera paulatina sus células, órganos y funciones vitales.

Una de las consecuencias de la contaminación urbana es el deterioro gradual a la salud. Las estaciones de servicio representan una fuente puntual de contaminación, las cuales por su cercanía a zonas residenciales las convierten en lugares de alto riesgo. Es por esto que el presente trabajo aborda el monitoreo del estado de la salud de la población dentro de un área de riesgo en la ciudad de Tijuana, Baja California y se busca establecer zonas de riesgo genotóxico y psiconeurológico en población humana expuesta a BTEX por emisiones de estaciones de servicio en el municipio de Tijuana, Baja California por lo cual primero, se trabajó en georreferenciar dentro de las AGEB las estaciones de servicio en el área urbana de Tijuana, Baja California y después se determinaron las áreas de afectación de exposición a BTEX por proximidad a estaciones de servicio. A partir de esto se monitoreó el daño genotóxico y psiconeurológico en los residentes de las proximidades a las estaciones de servicio para finalmente definir las zonas de riesgo genotóxico y psiconeurológico por emisiones de BTEX proveniente de estaciones de servicio.

II ANTECEDENTES

2.1 Biomonitorio del daño

La causa más importante en el desarrollo de enfermedades crónicas degenerativas está ligada al daño genómico, lo cual está comprobado que es producto a la exposición ambiental a genotoxinas, agentes biológicos, procedimientos médicos (radiación y quimioterapia), la deficiencia de micronutrientes, factores de estilo de vida que involucran el consumo de drogas legales e ilegales, mala nutrición, estrés, factores genéticos encargados del metabolismo y/o la reparación del ADN (9). La continua exposición a contaminantes dispersos en la atmósfera en muchos de los casos trae efectos adversos a la salud, es por esto que la evaluación y valoración de riesgos a la salud por la exposición a sustancias químicas se utilizan biomarcadores de efecto, en donde existen varias técnicas, por ejemplo el ensayo de intercambio de cromátidas hermanas, conteo de aberraciones cromosómicas, ensayo cometa, entre otras. Sin embargo, la mayoría de estas son de alto costo, requieren de tecnología sofisticada, son muy laboriosas y además consumen gran cantidad de tiempo (10). El tiempo es un factor de suma importancia en la valoración del riesgo se utiliza una técnica alternativa, que se distingue por ser muy sencilla, de bajo costo, no invasiva para los pacientes, y de rápida respuesta, como el ensayo de micronúcleos (MNI) y anomalías nucleares (AN) en células exfoliadas de epitelio bucal, que consiste en la toma, fijado, tinción y observación bajo microscopio de la morfología celular y nuclear de las células de epitelio bucal. Esta técnica se deriva del ensayo general de micronúcleos en linfocitos de sangre periférica por bloqueo de la citocinesis (MNBC) (11).

2.2 El ensayo de micronúcleos

El primer antecedente referido al uso del ensayo de micronúcleos fue realizado por Evans y colaboradores en 1959, quienes usaron de modelo células de raíz de *Vicia faba* L. expuestas a radiación ionizante *in vitro* (12); para 1971, es realizado un trabajo *in vivo* por Matter y Schmid, en médula ósea de roedores, en donde se explica la formación de diversas anomalías celulares por exposición a Trenimon, un fuerte alquilante mutágeno (13); dos años después en 1973, Von Ledebour y Schmid realizaron nuevamente con Trenimon el ensayo de micronúcleos en médula ósea, donde indicaron aspectos metodológicos para una correcta interpretación de los resultados de la prueba (14). Para 1975, Schmid publica el primer protocolo formal de ensayo de micronúcleos en células de medula ósea de mamíferos pequeños, donde evalúa la genotoxicidad por exposición a sustancias químicas (15). Posteriormente, Schlegel y MacGregor en 1982, publican un estudio donde monitorean la formación de micronúcleos en hematíes de sangre periférica de ratones (16) sin embargo, no fue hasta el 1983, año en el cual Stich junto con San y Rosin propusieron una nueva manera de llevar a cabo el ensayo de micronúcleos, ahora en exfoliado de células bucales utilizado a manera de indicador para el biomonitoreo de daño genético, aquí los autores postularon que este mecanismo es un buen sistema de estudio de los efectos genotóxicos en diversos tejidos humanos (17).

A partir de 1990, comienza el auge de las publicaciones referentes al uso de la técnica de micronúcleos en diversos tipos de epitelio y otros tejidos, algunas de estas publicaciones notables son realizadas por Tolbert, y colaboradores (18) (19), Rosin (20), Titenko-Holland y colaboradores (21), Bhattathiri y colaboradores (22), Karahalil y colaboradores (23).

En 2007, el grupo de investigadores dirigidos por Michael Fenech, dentro del proyecto de micronúcleos humanos describen una nueva variante en la línea de investigación titulada proyecto de micronúcleos en exfoliado celular (HUMN(XL)), al igual que el ensayo de micronúcleos en linfocitos de sangre periférica humana certificado desde el año 2002, este fue validado

internacionalmente, y para el año 2009 publican los criterios estandarizados para su uso extensivo de biomarcador de daño (24) (25).

2.3 Bases teóricas del uso de la técnica de micronúcleos y otras anomalías celulares

Los micronúcleos se forman durante la mitosis celular, esencialmente constituyen fragmentos de cromosomas o cromosomas completos que no se integran a los núcleos de las células hijas antes que la citocinesis tome lugar por lo tanto, son evidencia de daño (26). Es por esto, que la frecuencia de micronúcleos sirve de índice en relación a un cierto número de células observadas a modo de indicador de exposición a agentes citotóxicos y genotóxicos, en una gran cantidad de especies eucariotas y especialmente en humanos, la formación de MNi es inducida por sustancias que causan la rotura de cromosomas (clastógenos), o afectan el aparato del huso mitótico (aneugénicos). Algo destacable del uso de esta técnica, es que existe evidencia significativas en las frecuencias MNi entre los individuos que han estado expuestos a clastógenos por un período de muchos años y otras personas que sólo fueron expuestos durante un corto tiempo por lo tanto, la técnica es utilizable de biomarcador tanto para exposición aguda o crónica (27). Aunque la técnica de micronúcleos es eficaz en el biomonitoreo de la genotoxicidad, en algunos casos no es lo suficientemente sensible para la detección de fases tempranas del daño, es por esto, que actualmente es complementada con otros marcadores correspondientes a la necrosis y apoptosis, bajo este panorama la técnica es conocida con el nombre de ensayo citómico de micronúcleos bucales (BMCyt, por sus siglas en inglés) (28) (29).

Dentro de los factores asociados al incremento en la frecuencia de MNi y demás anomalías nucleares están los grupos poblacionales expuestos a solventes orgánicos, compuestos policíclicos aromáticos (CPA), gasolina, arsénico, fármacos antineoplásicos y consumo de tabaco; sin embargo, este último está asociado a un consumo mayor a 40 cigarrillos por día. Por otra parte, no se ha encontrado asociación entre el consumo de alcohol y la frecuencia de micronúcleos, aún si su ingesta es diaria. Otro factor importante en la frecuencia de MNi es la dieta, se ha encontrado que la población que

tiene un consumo mayor de frutas y vegetales de color verde tiene valores significativamente menores de MNI, en particular los que consumen diario estos alimentos (29). Esto es debido al ingreso de micronutrientes en especial las vitaminas, ácido fólico (B9) y cobalamina (B12), que juegan un papel importante en el metabolismo del ADN. El folato (forma activa del ácido fólico) es necesario para la síntesis de desoxitimidin monofosfato (dTMP) a partir de desoxiuridin monofosfato (dUMP), bajo condiciones de deficiencia de folato el nucleótido dUMP se acumula, lo que resulta en su incorporación en el ADN en lugar de timina. La evidencia actual sugiere que la incorporación excesiva de uracilo en el ADN, no sólo conduce a la manifestación de mutaciones puntuales sino que también puede dar lugar a la generación de roturas de ADN, rotura de cromosomas y la formación de micronúcleos. B9 y B12 intervienen en la síntesis de metionina y S-adenosil metionina (SAM), que es el donante común de grupos metilos requeridos para el mantenimiento de los patrones de metilación en el ADN que determinan la expresión de genes y la conformación cromosomal. Si la concentración de la vitamina B12 y metionina es baja, se reduce la síntesis de SAM, por lo tanto, se reduce la metilación del ADN. La inhibición por SAM de metilen-tetrahidrofolato reductasa (MTHFR) resulta en la conversión irreversible de 5,10, metilen-tetrahidrofolato a 5-metiltetrahidrofolato, lo que favorece el aumento en la reserva de dUMP y la incorporación de uracilo en el ADN. Dado que la vitamina B12 es un cofactor esencial en la metilmalonil CoA mutasa (MMCoA Mutasa), su deficiencia también conduce a la acumulación de ácido metilmalónico (MMA) el cual interrumpe el metabolismo mitocondrial, esta consecuencia desencadena la generación en exceso de especies reactivas de oxígeno (ROS). Los ROS también se generan a consecuencia de la deficiencia inducida de vitamina B12 por citoquinas inflamatorias conocidas bajo el nombre de factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) y el aumento de la homocisteína, consecuencia de la inhibición de metionina sintasa (MTR) causada por la falta de vitamina B12. Las deficiencias de ácido fólico y vitamina B12 incrementan los niveles de homocisteína, daños elevados en el ADN y estas mismas deficiencias pueden estar relacionadas en el desarrollo de anormalidades neurológicas (26).

2.4 Descripción de la morfología de las células epiteliales

Las bases teórico-morfológicas para la identificación de las distintas formas celulares observadas bajo el microscopio fueron descritas por Tolbert, Shy y Allen (18) (Figura 1), que ha servido de base para trabajos posteriores en donde destacan el de Torres-Bugarín y colaboradores (30) y Bolognesi y colaboradores (11), del cual este último se tomó la descripción e identificación mencionada a continuación.

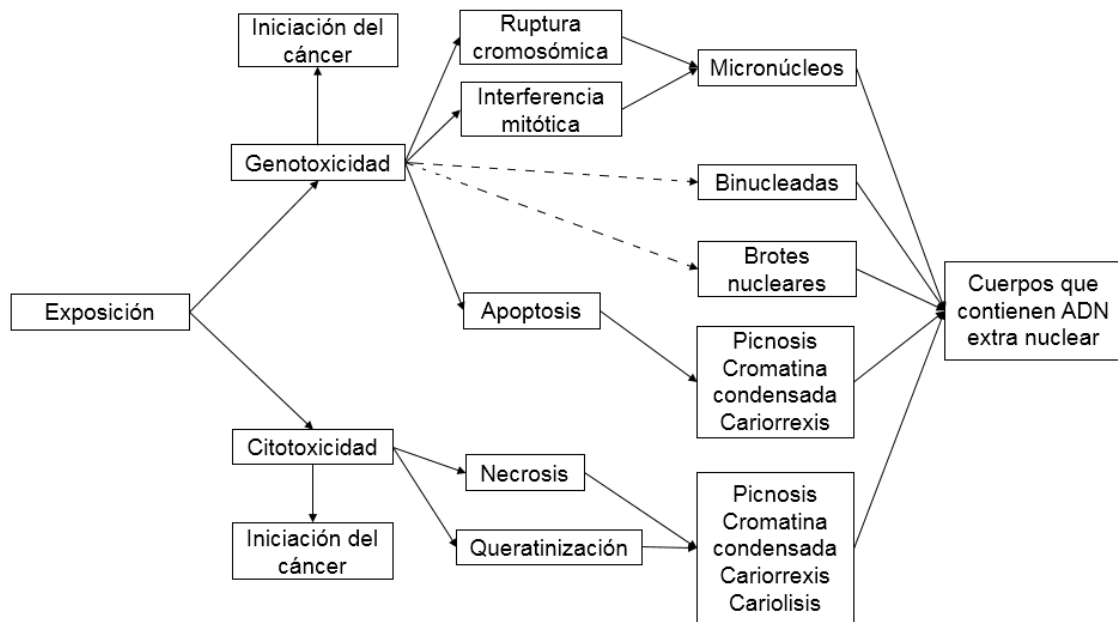


Figura 1. Rutas postuladas del origen de las distintas anomalías nucleares. Las líneas punteadas representan un origen incierto. Modificado de Tolbert, Shy y Allen (1991)

Células basales [BS]: Se encuentran en la capa de estrato basal que contiene las células madre que pueden expresar daño genético (MNi y/o Buds) durante la división celular. La frecuencia de este tipo de células refleja la actividad proliferativa de la mucosa bucal y puede depender del método de toma de muestra y su intensidad. Se observa que al repetir el muestreo en la misma zona de la mucosa bucal puede aumentar la frecuencia de células basales casi el doble después de una segunda muestra y triple después de quinta muestra repetida.

Células diferenciadas: Esta categoría de células incluye células que se encuentran en transición de convertirse en células terminales diferenciadas y células diferenciadas terminales que generalmente representan la mayor parte de las células en una preparación.

Cromatina condensada [CC]: Se caracterizan por un núcleo con un patrón estriado debido a las áreas paralelas de cromatina condensada que se tiñen intensamente. La estructura de la cromatina condensada tiene poca o ninguna actividad transcripcional y se ha asociado con el proceso de apoptosis. Estas células no deben ser contadas para MNi o Buds porque la apoptosis puede causar la fragmentación nuclear y la generación de los cuerpos nucleares similares a MNi o buds.

Cariorrexis [KR]: representado por la agregación más extensa de la cromatina nuclear con respecto a células con cromatina condensada. Su patrón nuclear densamente moteado es indicativo de la desintegración nuclear típica de las últimas etapas de la apoptosis. De igual manera estas células no deben ser contadas para MN y/o buds, porque la apoptosis puede causar la fragmentación nuclear y la generación de los cuerpos nucleares similares.

Picnosis [PC]: Son células terminalmente diferenciadas que tienen un núcleo pequeño encogido intensamente teñido. El diámetro nuclear es por lo general uno a dos tercios de un núcleo en las células terminalmente diferenciadas normales. La picnosis representa la condensación irreversible de la cromatina en un núcleo de células sometidas a apoptosis y se cree que precede a la cariorrexis. La importancia biológica de las células en picnosis y el mecanismo que conduce a su formación en células bucales no se entiende completamente.

Cariolisis [CL]: Son células diferenciadas terminales que parecen carecer de un núcleo. Su núcleo se han depletado por completo de ADN por lo tanto, aparece en forma de una imagen fantasmal, son Feulgen negativos. La cariolisis es la etapa en la desintegración del núcleo es completa y se produce en las etapas posteriores de la necrosis o la apoptosis.

Células con micronúcleos (MN): Estas células se caracterizan por la presencia de uno o más micronúcleos a lado del núcleo principal (células mononucleadas) o núcleos (células binucleadas). Los MNi son redondos u ovalados en forma con la misma textura e intensidad de tinción que la del núcleo principal. El diámetro del MNi oscila entre 1/3 y 1/16 del núcleo principal. Los MNi se observan y registran por lo general, en las células transicionales o terminales diferenciadas normales, pero también pueden ocurrir en células basales. Las células con cromatina condensada, células cariorrexis y células en picnosis no se registra la presencia de MNi para evitar confusión con cuerpos apoptóticos a partir de la desintegración del núcleo. La frecuencia de línea de base para las células bucales micronucleadas en sujetos sanos no expuestos a agentes genotóxicos es por lo general está dentro de la gama de 0,30 a 1,70 por 1000 células diferenciadas. Las células bucales con múltiples MNi son raras en sujetos sanos, pero pueden estar presentes en la mucosa de sujetos expuestos a altas dosis de agentes genotóxicos, ejemplo la radiación ionizante.

Células binucleadas [BN]: Tienen dos núcleos con el mismo tamaño, morfología, textura e intensidad de la tinción. A menudo están cerca y pueden entrar en contacto entre sí. El mecanismo más probable para la formación de células binucleadas es el fracaso de la citocinesis ya sea debido a defectos en la formación del anillo de micro filamentos o la detención del ciclo celular debido a la mala segregación de cromosomas o la disfunción de los telómeros. Está demostrado que la no disyunción se produce con una frecuencia más alta en las células binucleadas que fallan para completar la citocinesis en lugar de en las células que han completado la citocinesis que resulta en la formación normal de dos células mononucleadas. Además, se ha observado que las células epiteliales humanas que presentan disfunción en los telómeros son más propensas a convertirse en células tetraploides seguido del fallo en la citocinesis lo que da de resultado en la perseverancia de anafase puentes dentro del plano de división. Los individuos que se caracterizan por la tasa anormal de aneuploidía, son pacientes con síndrome de Down, quienes demostraron tener una frecuencia dos veces mayor de células binucleadas en comparación con los controles normales emparejados. Por lo tanto, la

proporción de células binucleadas/mononucleadas es un biomarcador útil en identificación de la citocinesis fallida y susceptibilidad a la aneuploidía.

Células con brotes nucleares (BUD): Contienen cuerpos nucleares que están conectados al núcleo principal por un ancho o delgado puente nucleoplásmico delgado. Los buds tienen la misma textura e intensidad de coloración del núcleo principal y su diámetro por lo general oscila entre 1/3 y 1/16 del núcleo principal. Su estructura es sugerente a un proceso de gemación implicado en la eliminación de exceso de material nuclear procedente de complejos de reparación del ADN no resueltos o ADN amplificado después de su segregación a la periferia del núcleo. En algunos casos poco frecuentes, los buds pueden ser incluso más grandes, a veces casi hasta del tamaño del núcleo principal. Debido a estos buds nucleares más grandes, originalmente designado por Tolbert bajo el término de "huevos rotos" son de origen incierto (18) (19). Sin embargo, Nersesyan considera que en epitelio bucal, su formación es debido a amplificación de genes o una acción genotóxica asociadas a problemas degenerativos en la primer capa de las células epiteliales (31). Por razones prácticas y por su apariencia similar se incluyeron dentro de la categoría de buds la anomalía de núcleo lobulado (NL) (Figura 2).

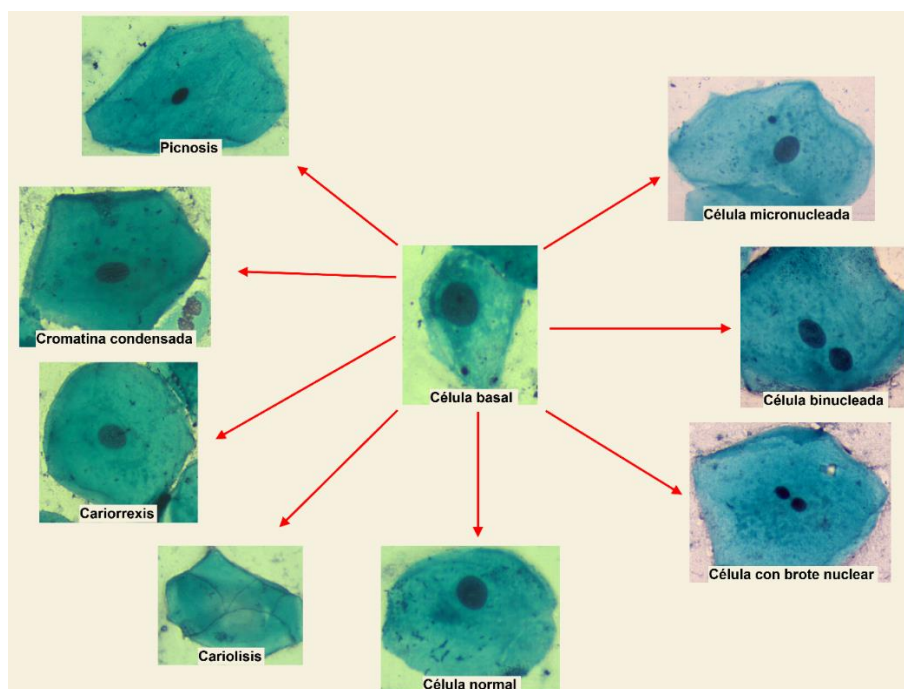


Figura 2. Morfología de células de epitelio bucal y diversas anomalías nucleares con tinción de orceína verde rápido a 100X (Micrografías por Victor Wagner Barajas Carrillo ©)

2.5 Descubrimiento y evolución del uso de la gasolina

La historia de la producción a gran escala de gasolina se remonta al primer pozo petrolero en el año 1859 con Edwin L. Drake, quien en la búsqueda de queroseno obtenido por destilación separó otros subproductos entre los que se encontraba la gasolina sin embargo, esta era descartada ya que no tenía ningún uso hasta el momento. Fue hasta 1876 que Nikolaus August Otto y Jean Joseph Etienne Lenoir desarrollaron el primer motor de combustión interna que operaba con gas de coque y ya para el año 1892 con la invención del automóvil la gasolina, esta mezcla figuró como parte fundamental de los energéticos para esta industria.

En Estados Unidos, en el año 1920 había alrededor de nueve millones de vehículos impulsados con gasolina; esto trajo consigo el auge de las estaciones de servicio en todo Estados Unidos, dos años después en 1922, Midgley y Boyd al descubrir el tetraetilo de plomo (TEP) introducen los compuestos antidetonantes convirtiéndose en un componente importante en la manufactura de la gasolina, ya que aumentó su potencia. Esta innovación trae consigo en la década de 1950, un ciclo de mejoras en la eficiencia del combustible que coincidieron con el desarrollo a gran escala en la refinación de petróleo para generar productos de mayor octanaje, poco después se añadieron detergentes a la gasolina para mantener en mejores condiciones la maquinaria.

En 1970 la gasolina y la industria automotriz recibieron una mayor atención debido a los problemas ambientales y para la salud causados por el TEP, lo que llevó en una gradual eliminación de este compuesto y sustituido por otros compuestos de menor toxicidad. En los Estados Unidos, el proceso de eliminación del plomo se inicia en 1974, con la aparición en el mercado de vehículos equipados con una nueva tecnología conocida bajo el nombre de convertidor catalítico, esta innovación permitió reducir las emisiones de monóxido de carbono y gasolina cruda, ya que al ser envenenada con plomo producto de la combustión esta queda inutilizada.

En México a partir de 1980 se inicia el proceso de reducción del plomo en las gasolinas, donde el valle de México fue la primera etapa de esta medida, posteriormente el resto del territorio. En el período comprendido de 1980 a 1990, una de las gasolinas en el mercado mexicano conocida bajo el nombre

comercial de Nova plus redujo su especificación máxima de contenido de plomo en el Valle de México, de tal manera que al final de la década esta disminución representó más del 90%. Adicionalmente, se incorporó a la formulación de la gasolina compuestos oxigenados, ejemplo de estos el metil tert-butil éter (MTBE). En 1990 se introduce al mercado la gasolina libre de plomo, conocida llamada Magna Sin, esto permitió ajustarse a una normatividad más estricta en lo que respecta a los vehículos y dar el paso en la incorporación de los convertidores catalíticos en 1991. Cinco años más tarde en 1996, llega al mercado una nueva gasolina llamada Pemex Premium, establecida a solicitud de las autoridades ambientales bajo los límites máximos más restrictivos de los compuestos fotoreactivos y tóxicos, al igual que una reducción significativa en el contenido de azufre, esto favorecido en un mejor desempeño en los convertidores catalíticos y la reducción en emisiones de compuestos formadores de ozono. Al finalizar 1997, se deja de comercializar definitivamente gasolina con plomo en el país, lo que puso el fin el uso de TEP. La eventual eliminación del TEP trajo consigo el incremento en el uso de otros compuestos orgánicos, ejemplo el benceno y otros aromáticos (32) (33) (34) (35).

Actualmente de todos los componentes orgánicos que conforman a la gasolina entre un 25 a 30% pertenecen a la serie de los aromáticos, los cuales son el benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos, juntos reciben en acrónimo de BTEX (**Error! Reference source not found.**), estos COVs son estudiados de manera particular por sus propiedades contaminantes, ya que presentan una gran movilidad en el ambiente, alta solubilidad en el agua y principalmente por sus efectos tóxicos para distintos organismos (36) (37) (38). La exposición prolongada a los BTEX conduce a serios problemas a la salud, donde destacan el deterioro neurológico, cambios en el comportamiento, deterioro celular, daño al sistema hematopoyético e inmunológico, padecimientos cardiacos y respiratorios, además existe la posibilidad del desarrollo de efecto a largo plazo los cuales son el incremento en la susceptibilidad a desarrollar cáncer, diabetes entre otras enfermedades crónico degenerativas (39).

A continuación se presentan algunas de las propiedades más representativas de estas cuatro sustancias, sus usos en la industria y sus correspondientes efectos para la salud humana.

El benceno es una sustancia líquida incolora, de olor dulce, se evapora de manera rápida y es altamente inflamable. Sus usos en la industria son muy variados, su principal aplicación, además de ser un antidetonante en la gasolina, es ser solvente industrial. Se lo puede encontrar en agua, suelo y aire de fuentes que pueden ser de origen natural y antropológico (40). En cuanto a los efectos sobre la salud, puede causar efectos hematológicos que en última instancia conducen a una anemia aplásica y el desarrollo de leucemia mielógena aguda (40), formación de micronúcleos, cambios estructurales y numéricos en cromosomas (41) (42), también se asocia con alteración del ciclo menstrual y disminución en el tamaño de los ovarios, infertilidad femenina y masculina, causa alteraciones durante la gestación, bajo peso al nacer, retraso en la formación del sistema óseo y daño en médula ósea. Los metabolitos que frecuentemente se encuentran en la orina después de estar expuesto al benceno son el fenol, el ácido mucónico y el ácido S-fenilmercatúrico (40). La IARC clasifica esta sustancia dentro del grupo 1, Carcinógeno para los seres humanos (5) .

El tolueno es un líquido claro, volátil, incoloro con un olor característico. Es un buen disolvente, se añade a la gasolina junto con el benceno y los xilenos a manera de antidetonante. Ocurre naturalmente en el petróleo crudo y en el árbol de Tolú (*Myroxylon toluiferum* A. Rich.). Se produce en el proceso de fabricación de gasolina y otros combustibles de petróleo crudo, en la fabricación de coque a partir de carbón, y es un subproducto en la fabricación de estireno. El tolueno se usa en la fabricación de pinturas, diluyentes de pintura, esmalte de uñas, lacas, adhesivos, caucho y en algunos procesos de impresión y curtido del cuero. Su ingreso al ambiente se da por la disposición de materiales que lo contienen, los cuales son pinturas, laca y barnices, solventes, y gasolina. Afecta al sistema nervioso central, en donde causa somnolencia, dolor de cabeza, confusión, mareos náusea y falta de apetito, la exposición prolongada causa daño renal, y en combinación con alcohol daño

hepático (43). La IARC, lo clasifica dentro del grupo 3, No es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos (5).

El etilbenceno es un líquido incoloro con olor a gasolina encontrado en el petróleo de manera natural, es utilizado en la industria por sus propiedades de ser solvente y materia prima para la elaboración de tintas, estireno y plaguicidas. Se descompone fácilmente en el ambiente por acción de bacterias y medios físicos, la exposición aguda causa mareo e irritación en garganta, la exposición crónica causa daño en hígado, oído y riñón (44). La IARC, lo clasifica dentro del grupo 2B, Posible carcinógeno para los humanos (5). Entre otros efectos en humanos causa un aumento en la producción de linfocitos y una depletación en eritrocitos y efectos negativos en el sistema reproductivo. No se ha encontrado evidencia suficiente para clasificarlo dentro de un agente genotóxico. Los metabolitos primarios de su excreción son el ácido madélico y el ácido fenilglioxílico (44).

Los xilenos se componen de tres isómeros, el *orto*-xileno, *meta*-xileno y *para*-xileno, son incoloros e inflamables, de olor dulce semejante al tolueno. Se producen de manera natural en incendios de bosques, y en el petróleo, de este último se destila. Se utilizan en la industria para disolver pinturas y esmaltes, en la catálisis de polímeros y aditivos para la gasolina. Los efectos por exposición a xilenos son: irritación en piel, ojos, garganta, dificultad para respirar, deficiencia en la visión, falta de memoria, molestias estomacales y posibles cambios celulares en hígado y riñones. Los efectos prolongados causan desórdenes neurológicos, carencia en la función muscular, mareos, confusión y en algunos casos muerte. Para el caso de daño genotóxico, los xilenos no muestran alteraciones sobre el ADN. Una vez dentro del sistema son metabolizados en hígado y excretados en forma de ácido metilhipúrico, alcohol metilbencilico y en menor medida xilenol (45). La IARC, los clasifica bajo denominación 3, No es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos (5).

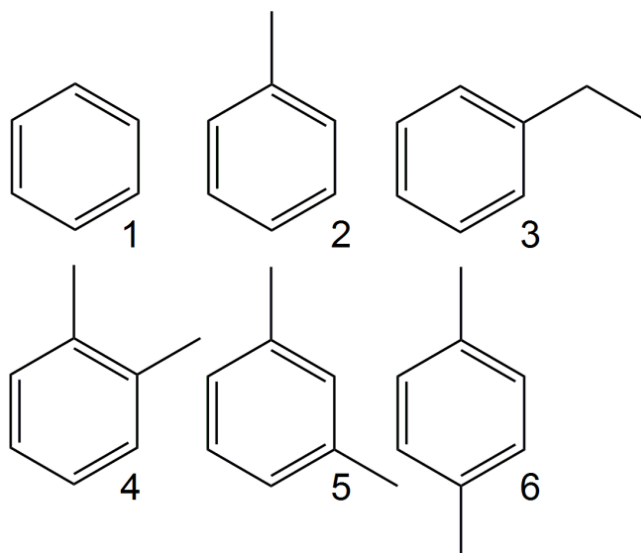


Figura 3. Estructuras moleculares de los BTEX; 1) benceno, 2) tolueno, 3) etilbenceno, 4) orto-xileno, 5) meta-xileno y 6) para-xileno.

Con base en lo que se ha mencionado en párrafos anteriores, los BTEX son constituyentes importantes de la gasolina que utilizan los automóviles y otros vehículos con motores de combustión interna, esto es debido a la actividad laboral desarrollada en las estaciones de servicio, quienes residen y laboran en áreas adyacentes se encuentran expuestos a altos niveles de estos contaminantes, lo cual puede conducir a serios problemas a la salud de estas personas, por esto el presente trabajo efectuó un estudio de biomonitorio con la técnica de micronúcleos en células exfoliadas de epitelio bucal con la finalidad de relacionar la exposición crónica a BTEX y el daño genotóxico y sus consecuencias dentro del deterioro de la salud, ya que existe un incremento dramático en la construcción y operación de estaciones de servicio en zonas residenciales y de confluencia civil. Los resultados obtenidos en este trabajo se espera que sean de utilidad para las personas que laboran y residen dentro del área próxima a una estación de servicio, así de igual manera esto sea una herramienta a considerar por las autoridades competentes encargadas en la licitación de nuevas estaciones de servicio, no solo en Tijuana Baja California, sino en otras regiones del país.

2.6 Marco legal en México

El marco legal mexicano referente a la prevención y control de emisiones de compuestos volátiles producto de la actividad desempeñada en las estaciones de servicio cuenta con distintas legislaciones, las cuales se pueden clasificar en leyes y normas oficiales respectivamente.

En primera instancia se encuentra la Ley General Del Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual en los capítulos I y II contempla diez artículos referentes a la contaminación ambiental (LGEEPA, 2012, Art. 1 y 2).

Mientras que la Ley General de Protección Civil (LGPC), la cual establece que es responsabilidad de los gobiernos estatales y municipales llevar a cabo proyectos, estudios e inversiones necesarias para ampliar y modernizar la cobertura de los sistemas de medición de los distintos fenómenos perturbadores naturales y antropogénicos, encaminados a prevenir riesgos que pongan en peligro la vida y que puedan provocar daños a la población (LGPC, 2012, Art. 25)

Dentro de la regulación técnica existen normas oficiales mexicanas (NOM), las cuales están encargadas de brindar los parámetros necesarios para evitar riesgos a la población. La primera norma es conocida con la clave NOM-086-ECOL-1994, la cual establece las especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles. La segunda norma corresponde a NOM-092-ECOL-1995, que menciona los requisitos, especificaciones y parámetros para el diseño, instalación y puesta en marcha de sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo ubicadas en el Valle de México.

A nivel interno, cada estación de servicio cuenta con un manual de operación, en el cual se especifica las acciones y medidas a desarrollar durante las actividades en la estación de servicio, de igual manera cuentan con lineamientos para la protección de suelo y mantos freáticos sin embargo, no se menciona el uso de medidas para el control de emisiones fugitivas a la atmósfera.

III MARCO CONCEPTUAL

3.1 El manejo ambiental de riesgos para la salud

En este trabajo se establece que el manejo ambiental de riesgos para la salud humana (MARSH), se compone de dos elementos distintos pero complementarios: el primero constituye la estimación del impacto potencial de peligros químicos, físicos, biológicos o psicosociales sobre una población humana específica bajo un conjunto de condiciones ambientales, las cuales se enmarcan en un tiempo determinado; el segundo elemento involucra la valoración, implementación y seguimiento de procedimientos, métodos y estrategias que favorezcan la aplicación medidas e instrumentos de la política ambiental que busquen reducir o mitigar las afectaciones sobre la salud de una población, que pudieran resultar por la ejecución actividades, programas o proyectos de desarrollo (46).

Ejemplos históricos y emblemáticos del MARSH son la serie de eventos que culminaron con la restricción del uso del dicloro difenil tricloroetano (DDT) en la agricultura y la eliminación del tetraetilo de plomo en las gasolinas, cuya restricción se encuentra establecida en ordenanzas internacionales que han sido asignadas por la mayoría de los países.

El MARSH articula conceptos aparentemente desvinculados entre sí debido a los campos disciplinares a los que pertenecen. El término de manejo está enfocado a la planeación adaptativa y organizada de distintos procesos que tiene de objetivo la solución a un problema planteado. Se admite, en general que el manejo en su sentido más amplio, se aplica al campo de conocimiento que tiene el propósito de explorar y proponer alternativas de solución a problemas ambientales complejos que la sociedad demanda.

Por otra parte, el término riesgo, se define por La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (ISDR, por su siglas en inglés), bajo “la probabilidad de que un evento y sus consecuencias negativas se produzcan” (47). Esta definición pone de manifiesto que los riesgos son la suma de factores que a

través del tiempo traen secuelas negativas para la población, los cuales pudieran ser previsibles; en consecuencia para definir el concepto de riesgo para la salud, es necesario establecer cuál será el significado preciso de salud en el campo del manejo de riesgos.

Lo que se entiende por el término salud corresponde al momento histórico en el que se define, pues en cada momento, determinada sociedad puede tener una visión particular de la misma (8). Es por esto que la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1946 propone una definición integradora, la cual establece que la salud es el estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades. Bajo esta definición la OMS, es el máximo órgano referente a este rubro pretende estandarizar a las organizaciones que buscan el cuidado de la salud y que no se circunscribe únicamente al sanitarismo.

De lo anterior se desprende que no es posible separar el estado de salud de las personas del medio ambiente en el que se encuentran inmersas, junto con las demás especies y sus intrincadas interacciones con los factores físicos, químicos, biológicos, sociales, económicos y culturales, que pudieran tener la capacidad potencial de causar un efecto ya sea a corto o largo plazo (48).

Los contaminantes ambientales pueden afectar la salud de manera inmediata o paulatinamente, las manifestaciones agudas son muy evidentes en las personas afectadas, estos pueden presentarse a manera de espasmos, erupciones en la piel, fallas respiratorias o cardíacas e incluso la muerte, esto sucede si la cantidad del tóxico en el ambiente supera la capacidad del organismo para excretar las sustancias nocivas. Los efectos a largo plazo en cambio, resultan de la exposición crónica a pequeñas dosis de toxinas que de manera imperceptible para la persona van deteriorando de manera paulatina sus células, órganos y funciones vitales.

La contaminación ambiental en las zonas urbanas trae consecuencias donde destaca el deterioro gradual a la salud, una de las fuentes de esta contaminación son las estaciones de servicio, las cuales por su cercanía a zonas residenciales las convierten en lugares de alto riesgo. Para el diseño de

un proyecto enfocado al monitoreo del estado de la salud de la población dentro de un área de riesgo provee información sobre los impactos a corto y mediano plazo ocasionados por las actividades antrópicas.

3.2 Salud genómica

El descubrimiento de la forma del ADN por Rosalind E. Franklin en 1953 y en ese mismo año la publicación de su estructura por James D. Watson y Francis Crick dio comienzo a una serie de eventos de relevancia para el entendimiento de la biología de los seres vivos. No fue hasta 1986 que Thomas Roderick acuña el término genómica para describir el estudio de los genomas tanto las regiones codificantes y no codificantes, su estructura, los procesos metabólicos que desempeñan y su regulación (49). Gracias a la genómica nace una vertiente conocida bajo el término de salud genómica, la cual está encargada de la identificación de los genes y rutas ligadas al binomio salud-enfermedad, sus interacciones a factores ambientales al igual que la evaluación y desarrollo de métodos para su pronto diagnóstico y tratamiento (50).

3.3 Citotoxicidad, genotoxicidad, toxicología genética y evaluación del daño genotóxico.

Cualquier agente ya sea físico, químico o biológico que tenga la capacidad de inducir efectos adversos a los organismo es considerado un tóxico. Por esto, la toxicología contempla áreas de estudio tales como la citotoxicidad, la cual establece la capacidad de agentes físicos, químicos o biológicos de alterar las funciones de las células y la genotoxicidad, la cual es el indicativo del daño al genoma (mutaciones, daño cromosomal o errores de recombinación) provocados por algún agente físico, químico o biológico que interaccione con el material genético celular (51); Tales efectos conllevan a la muerte celular ya sea por vía apoptosis o necrosis sin embargo, si esta muerte no es bien lograda el resultado es la formación de cáncer (52).

3.3.1 Toxicología genética

La toxicología genética es la disciplina que se dedica a generar conocimiento relacionado con el efecto de diferentes tipos de tóxicos, sobre la estabilidad del

material genético, con el objetivo de conocer los procesos mediante los cuales se origina el cáncer, los padecimientos hereditarios y el envejecimiento prematuro (52). La genotoxicidad es una rama de la toxicología genética que se dedica a esclarecer cómo algunos agentes provocan translocaciones en la secuencia de ADN, inserciones o deleciones, lo cual puede resultar en mutaciones puntuales o a gran escala, tanto en células somáticas como en células germinales (53).

3.3.2 Evaluación del daño genotóxico

La evaluación del daño genotóxico se basa en la determinación de las modificaciones en el genoma con relación a algún agente tóxico. Dichos cambios pueden presentarse en los gametos que da origen a mutaciones en el embrión, lo que provoca daño de naturaleza definitiva, de largo plazo expresándose en consecuencias teratogénicas como defectos de nacimiento. En el momento que las alteraciones se dan en células somáticas el daño puede manifestarse en tumoraciones en cualquier órgano (mayormente en epitelio), también puede originar modificaciones en el metabolismo celular o bien en la manifestación temprana de enfermedades crónico-degenerativas (54).

Los antecedentes y el marco teórico que se presenta en ésta sección, permiten sustentar que el análisis de los efectos sobre la salud por las emisiones de las gasolineras en la zona urbana de Tijuana es un problema complejo, por lo cual se plantean los siguientes objetivos e hipótesis del trabajo.

IV OBJETIVOS E HIPÓTESIS

4.1 Objetivo general

Establecer zonas que puedan presentar riesgo genotóxico y psiconeurológico en población humana expuesta a BTEX por emisiones de estaciones de servicio en localidades urbanas de Tijuana, Baja California.

4.2 Objetivos específicos

- a) Identificar las estaciones de servicio y población residente del estado de Baja California así como la georreferenciación de las estaciones dentro de las AGEB del área urbana de Tijuana, Baja California
- b) Determinar áreas de afectación de exposición a BTEX por proximidad a estaciones de servicio.
- c) Identificar el daño genotóxico y psiconeurológico en los residentes de las proximidades a las estaciones de servicio.
- d) Definir las zonas de riesgo genotóxico y psiconeurológico por emisiones de BTEX proveniente de estaciones de servicio
- e) Elaborar recomendaciones de manejo para reducir el riesgo para la salud asociado a la exposición a BTEX para los residentes de las proximidades de las estaciones de servicio.

V HIPÓTESIS

La exposición a emisiones fugitivas de gasolina provenientes de estaciones de servicio, la población residente del área urbana de Tijuana está sujeta a daño genético.

VI METODOLOGÍA

Este capítulo se conforma de seis apartados. Primero, presenta el sitio donde se desarrolló el estudio; después se presenta el procedimiento mediante el cual se diseñó una base de datos que concentró la información general de las estaciones de servicio distribuidas en el área urbana de Tijuana, los cuales posteriormente, fueron anexados junto a datos de AGEB a un sistema de información geográfico. El tercer apartado consistió en la generación de áreas de afectación con datos de emisión e IDLH de benceno que tomaron el punto de origen las estaciones de servicio. En la cuarta sección, se incluyen aspectos técnicos durante la toma de muestras de epitelio bucal para la determinación del daño citotóxico y genotóxico. Después se explica cómo se estimó, con el uso de un modelo de un modelo de viento, las zonas de riesgo por exposición a emisiones provenientes de las estaciones de servicio. Finalmente en el apartado seis, se describen los actores involucrados para el desarrollo de la propuesta de manejo enfocada a la mitigación de emisiones provenientes de las estaciones de servicio.

6.1 El sitio de estudio: Tijuana, Baja California

El municipio de Tijuana está localizado entre los paralelos 32° 11' y 32° 35 ' de latitud norte; los meridianos 116° 31' y 117° 07' de longitud oeste, la zona tiene altitudes que van desde los 0 a 1,200m, se encuentra a 170 km de Mexicali y a 110 km de Ensenada (Figura 4), de acuerdo con los datos recabados durante el censo poblacional INEGI 2010, la población total es de 1,559,689, convirtiéndola en la ciudad más poblada del estado. La superficie continental es de 1,234.50 km², que equivale al 1.74% del total estatal. El clima dominante de Tijuana es seco mediterráneo templado (BSk), con temperatura media anual de 12-18°C y precipitación pluvial anual promedio de 100 a 300 mm, esencialmente durante la temporada invernal. El área urbana del municipio está dividida en nueve delegaciones, cuatro subdelegaciones 16 localidades urbanas y 573 AGEB. El área urbana está crece sobre suelos y rocas sedimentarias del Cretácico y rocas extrusivas e intrusivas del Cretácico y Neógeno, en meseta compleja, llanura aluvial costera salina y meseta compleja

con lomeríos; sobre áreas donde originalmente había suelos denominados regosol, leptosol y vertisol; además, este crecimiento está sobre zonas previamente ocupadas por matorrales y agricultura.

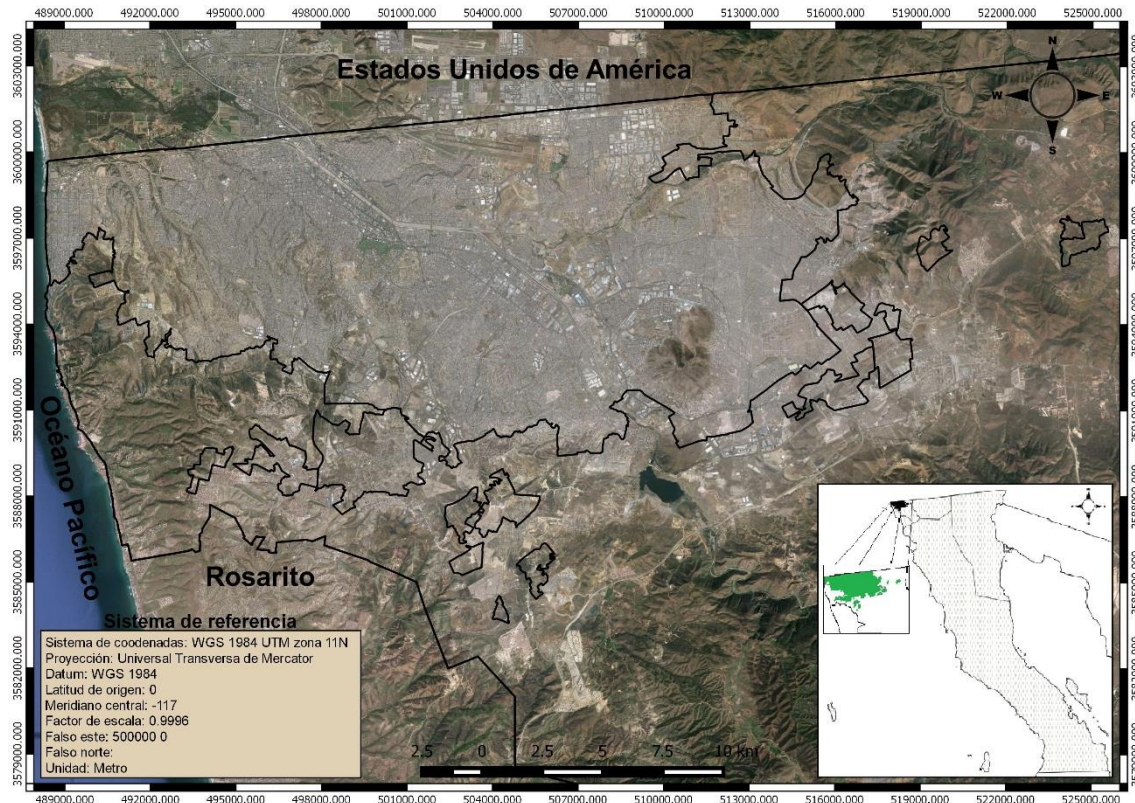


Figura 4. Sitio de estudio, Tijuana, Baja California. Elaboración propia

6.2 Estaciones de servicio y AGEB

Se diseñó una base de datos con el uso de la herramienta Microsoft Excel 2013[®], con información relativa a las estaciones de servicio del estado, misma que proporcionó la Subdirección Comercial, Gerencia de Ventas de Estaciones de Servicio de PEMEX. Para fines de este trabajo, solo se manejó la correspondiente al municipio de Tijuana. Se incluyeron los datos de los años 2010, 2011 y 2012, de la ubicación geográfica expresada en coordenadas UTM, número de identificación de cada estación de servicio (No. Es), razón social, dirección postal, colonia, código postal (CP), venta anual en metros cúbicos, litros y las cifras de emisión de COVs. Los tres últimos atributos se desglosaron en cada uno de los años mencionados.

Además de la información anterior, se incorporaron los datos vectoriales de otras variables las cuales son municipio, localidades urbanas, densidad poblacional, etc. A partir de las unidades conocidas bajo el nombre de área geoestadística básica (AGEB) descargadas del servidor del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). A estos archivos descargados se les asignó el sistema de referencia de coordenadas (SRC) a Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 11 N, Datum WGS84, con el fin de que todas las capas tuvieran un solo sistema de coordenadas.

Ya creada la base de datos, se generó con el software Qgis 2.8.1 un archivo de tipo Shape, para establecer geográficamente las estaciones de servicio. A partir de los datos contenidos en el archivo Shape de las AGEB, se realizó una operación para conocer la distribución de la densidad de población residente en toda el área urbana, se utilizó para tal efecto cinco clases de intervalo de densidad de distribución, finalmente se categorizó cada AGEB por medio de una rampa de color el fin de facilitar su interpretación.

6.3 Diseño de áreas de afectación

Para el diseño de una propuesta de áreas de afectación, fue necesario contar con una serie de datos tomados de García-Zárate y Rivera-Garibaldi (2010), los cuales se explican a continuación.

El cálculo de los valores de emisión de COVs se efectuó con el uso de una constante de factor de emisión $K_{fe} = 0.000402931160795006 \text{ Kg L}^{-1}$, desarrollada por García-Zárate y Rivera-Garibaldi (2010) a partir del procedimiento AP- 42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors diseñado por la Environmental Protection Agency (EPA) (55).

La suma para el año 2012 de las ventas anuales totales de gasolina en litros se multiplicó por la constante K_{fe} , y dicho resultado se dividió sobre mil, con lo cual se obtiene la emisión anual de COVs en toneladas y estos mismos se reexpresaron en unidades de gramos anuales.

Los resultados obtenidos en la reexpresión anterior se dividieron sobre 365 días, con la finalidad de estimar una aproximación de emisión de COVs diaria, ya que al utilizar los datos anuales se tendría un margen de error alto en el diseño del área de afectación, por no considerar la tasa de descomposición en la atmósfera de los contaminantes, ni la dispersión de la pluma.

El resultado de emisión en un día se multiplicó por la constante de factor de emisión de benceno $K_{feb} = 0.233$, tomada de García-Zárate y Rivera-Garibaldi (2010) (55), los resultados se dividieron sobre el valor de las concentraciones de peligro inmediato para la vida o la salud (IDLH, Immediately Dangerous To Life or Health Concentrations), que se construye a partir de las tablas de valores publicadas por el Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos (NIOSH, por sus siglas en inglés). Se consideró tomar de marcador de contaminación a las emisiones de benceno, ya que dentro de los BTEX el benceno, es el compuesto que representa una mayor toxicidad.

Para el diseño de las áreas de afectación se tomaron los valores de IDLH de benceno y se calculó el diámetro del área que representa la emisión de benceno en un día por cada estación de servicio.

Los datos generados antes de ser imputados en el software Qgis 2.8.1 para la generación de las áreas, se dividieron entre 2, esta medida fue tomada ya que el software al realizar las operaciones correspondientes considera el dato a manera de un radio geométrico con origen en el punto de la estación de servicio.

6.4 Monitoreo de daño citotóxico, genotóxico y síntomas neuroconductuales

Para caracterizar la relación del daño genotóxico con la exposición a emisiones de BTEX provenientes de las estaciones de servicio, fue necesario realizar una serie de etapas. La primera fue inspeccionar las zonas residenciales con proximidad las estaciones de servicio, con la finalidad de gestionar la participación de los residentes; la segunda etapa fue la toma de muestra de epitelio bucal y la aplicación del cuestionario; en el siguiente paso se realizó el trabajo de laboratorio consistente en la fijado, tinción, lectura del daño genotóxico; y finalmente el trabajo de gabinete que consistió en la preparación de la base de datos con los resultados de la genotoxicidad, los cuestionarios y la información geográfica con la que se ejecutaron los análisis estadísticos.

Se efectuaron recorridos en las áreas residenciales con proximidad a las estaciones de servicio con el fin de identificar las posibles zonas a realizar el muestreo. Ya identificadas las zonas se procedió a tomar las muestras, en sujetos voluntarios masculinos y femeninos que firmaron el consentimiento informado, con edades entre 15 y 55 años, los cuales se seleccionaron bajo los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión:

- Tener un tiempo de residencia mínimo de seis meses dentro de la zona cercana a una estación de servicio.
- Otorgar el consentimiento informado para la participación en el estudio (Anexo 1).

Criterios de exclusión:

- Consumo de fármacos genotóxicos.
- Quimioterapia, radioterapia y/o inmunosupresión.
- Exposición a rayos X o cualquier forma de radiación ionizante 90 días antes de la toma de muestra.

- Riesgo de infección (VIH, VHB, VHC, TB).
- Alergias.
- Desórdenes o patologías que influyen en la absorción de folato y cobalamina.

Los sujetos de control para este estudio fueron seleccionados bajo los criterios enlistados anteriormente, sin embargo, la única variable modificada fue que los voluntarios tuvieran un año o más de residencia fuera o lo más alejado de las áreas de afectación diseñadas para este trabajo.

Una vez que la persona aceptó participar en el estudio, se inició con la aplicación del cuestionario de empleo, alimentación y estilo de vida que constó de 85 preguntas, donde se registraron datos referentes la edad, tiempo de residencia, salud en general y alimentación (Anexo 2), al igual que el cuestionario conocido de síntomas psicológicos neurológicos o P.N.F., el cual consiste de 38 reactivos los cuales registran efectos neurotóxicos a sustancias nocivas, bajo cinco criterios: inestabilidad psiconeurovegetativa [PsN], este incluye el estudio de síntomas como: cefaleas, vahídos, vértigos, trastornos del sueño, debilidad, cansancio, agotamiento, sensación de frío o calor, sequedad en la boca; síntomas neurológicos [N], comprende los signos: mareos, vómitos, pérdida de la fuerza muscular, perturbaciones del equilibrio, inseguridad al caminar, hormigueos en pies y manos, trastornos en las relaciones sexuales, pesadez en las articulaciones y temblores en los brazos y piernas; astenia [A], este se refiere a manifestaciones tales como: no tener ánimos para trabajar , sentirse hastiado de todo, no tener interés para nada, lentitud de los movimientos, no tener energía y no querer saber nada de nadie; irritabilidad [E], comprende: no poder controlarse cuando está enojado, perder la paciencia y ponerse furioso y disgustarse demasiado rápido con las personas; y concentración y memoria [DK], abarca el distraerse fácilmente, dificultad para recordar cosas sencillas (nombres, personas), falta de memoria, estar distraído, dificultad para concentrarse (Anexo 3) (56). Ambos cuestionarios fueron completados en un tiempo comprendido entre 15 y 20 minutos por cada persona.

Durante esta etapa se explicó brevemente de qué trata el estudio, además se indicó que los cuestionarios y resultados, a pesar de que se pidió su nombre para posterior localización serían presentados a manera de porcentaje los cuales conservan su identidad de manera reservada conforme los principios éticos de la investigación médica.

La prueba de micronúcleos exfoliados de células bucales se realizó bajo el método propuesto por Tolbert y colaboradores (1991), modificado por Thomas y colaboradores (2009) y Torres-Bugarín y colaboradores (2013), con adecuaciones propias para este estudio.

Cada participante se enjuagó suavemente la boca con agua potable dos veces de cinco segundos cada enjuague (el agua puede se puede tomar), con la finalidad de remover cualquier resto de materia que interfieran con el análisis de la muestra. Se tomó la muestra de mucosa oral mediante un suave raspado con un portaobjeto de bordes esmerilados. Se realizó los extendidos sobre portaobjetos libres de polvo y grasa y previamente codificados. Se realizaron dos frotis: uno por mejilla, para cada raspado se utilizó diferente laminilla, se dejaron secar al aire y fueron almacenados en cajas especiales para su protección y transporte al laboratorio. El código de la laminilla fue consecutivo según la toma de muestra, donde los primeros dígitos indican el número de laminilla, seguido de la estación de servicio más cercana y cual mejilla fue ya sea el caso izquierda o derecha.

Al final de la toma de muestra y cuestionario se agradeció a los participantes.

Los frotis se fijaron en solución de etanol al 80% por 48 horas, se procuró no dejar más del tiempo estipulado para mantener la integridad estructural de las células. Una vez fijado el frotis, se esperó unos minutos a que sequen por completo a temperatura ambiente y se guardaron en cajas porta laminillas para su protección del polvo y otros contaminantes hasta su tinción.

Previo a la tinción se seleccionó una laminilla de cada toma, el criterio de selección fue que contuviera suficiente muestra y un extendido de manera

uniforme, la laminilla no seleccionada se guardó de respaldo en una caja aparte.

Para la tinción se emplearon dos colorantes, orceína (Número CAS. 1400-62-0) y verde rápido (Número CAS. 2353-45-9) estos permitieron diferenciar y contrastar la morfología nuclear. La orceína tiñe el material genético de rojo/púrpura, el Verde rápido actúa de contraste, ya que tiñe el citoplasma de azul/verde. (Anexo 4).

Las laminillas fijadas y secas se sumergieron durante 2 horas en solución de orceína, transcurrido el tiempo se destilaron hasta eliminar el colorante excedente, se dejaron secar un poco al aire libre y se procedió a contrateñir en solución de verde rápido durante 10 minutos, posteriormente se destiló el colorante excedente y se limpió la superficie inferior (que no soporta los frotis) con solución alcohol-acetona 3:1 para eliminar el colorante excedente que interfiere con la lectura, se dejaron secar al aire libre a temperatura ambiente.

Las láminas teñidas se observaron a una magnificación de 40X a 100X, con un microscopio óptico Carl Zeiss modelo Primo Star® en el cual se realizó un conteo de 2000 células (normales y anómalas) por cada laminilla (Figura 4), donde se identificaron células normales, basales [BS], cromatina condensada [CC], picnosis [PC], cariorrexis [KR], cariólisis [CL], micronucleadas [MN], binucleadas [BN] y brotes nucleares [BUD] (Figura 5). El criterio para la determinación morfológica celular fue tomado de Bolognesi y colaboradores (2013) con modificaciones para este estudio, el cual fue descrito en párrafos anteriores.

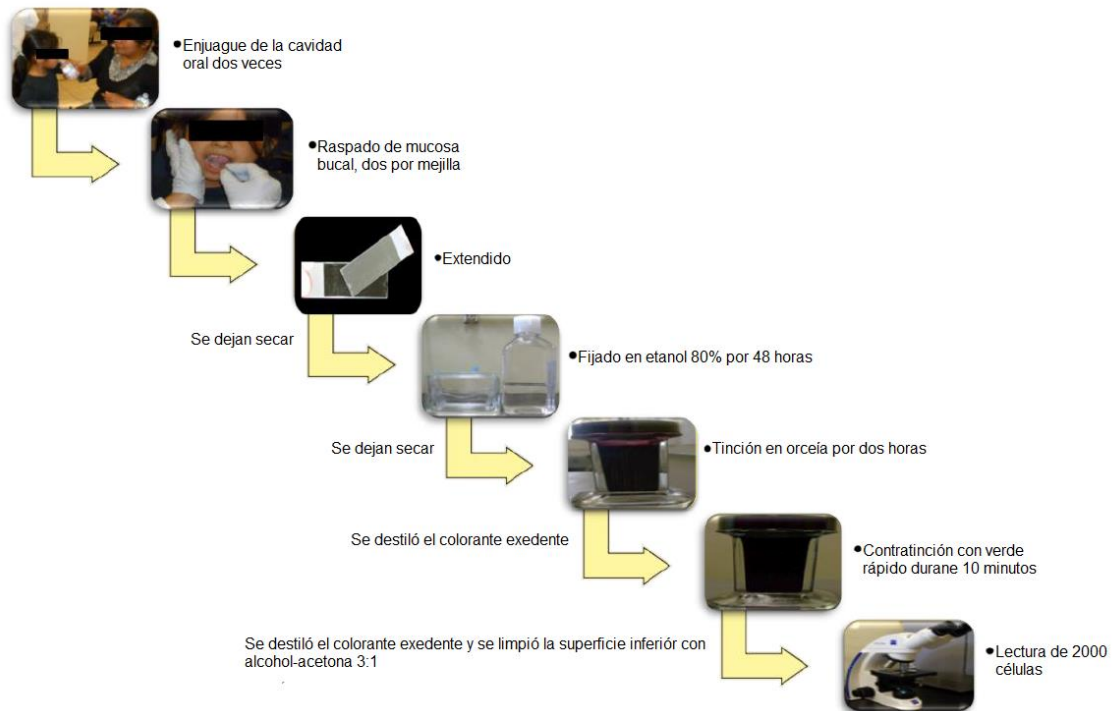


Figura 5. Metodología general para obtención de células de epitelio bucal, extendido, fijado, tinción, contratinción, limpieza y lectura. Tomado de Idalia Castañeda[®] con modificaciones propias para este estudio.

Todas las células que no presentaron alguna anomalía (teñido del núcleo uniforme, forma redonda u oval, mayor tamaño en relación con las células basales y el núcleo más pequeño en relación con el citoplasma) u otra estructura ajena se consideraron células normales. En ocasiones, durante la lectura de las laminillas pueden apreciarse otros tipos de células, ejemplo de estas son hematíes o leucocitos, en este caso estas células no fueron contadas ya que pueden ser producto de un sangrado de encías o un raspado bucal agresivo en el momento de la toma de muestra.

Los valores obtenidos durante la lectura de laminillas y cuestionarios se concentraron en una base de datos en el software Microsoft Excel 2013[®], se clasificaron por tipo de exposición y sexo. Una vez agrupado los datos, se generaron una serie de indicadores; para el caso del cuestionario de empleo, alimentación y estilo de vida fueron: estado de salud [Salud], estilo de vida [Vida], dieta [Dieta], estado de nutrición [IMC] y nivel de exposición [Niv. ex.], mientras que el cuestionario P.N.F., debe ser sumado y calificado previo al diseño de los indicadores de síntomas, lo cual posteriormente se explica los pasos para la construcción de los mismos (Anexo 5

y Anexo 6). Los datos resultados de la lectura de laminillas fueron agrupados bajo los indicadores de apoptosis [Apo.], citotoxicidad total [Ctt.], necrosis [Nec.], daño genotóxico total [Dgt.] y cada uno dividido entre 2000 células.

Los respectivos análisis estadísticos se realizaron con el software STATISTICA versión 10[®], los cuales constaron de promedios y su error estándar, al igual que el análisis de conglomerados (*cluster analysis*) con la regla de amalgamación del método de Ward y medida de distancia 1 –r de Pearson.

6.5 Identificación de zonas de riesgo

Con la finalidad de establecer las zonas de riesgo por exposición a compuestos orgánico volátiles provenientes de la actividad de las gasolineras, se generó un modelo de dispersión de viento a partir de datos proporcionados por la comisión nacional del agua (CONAGUA) y la Secretaría de Protección al Ambiente de Baja California, Unidad Tijuana (SPABC), de los cuales solo fueron utilizados para este estudio los concernientes a velocidad del viento expresada en kilómetros por hora y temperatura media en grados centígrados del año 2010. El primer tratamiento dado a los datos consistió en la obtención de un promedio mensual, una vez obtenido esto se calculó la dirección del viento en radianes, por último se realizó un ajuste en la dirección del viento para generación de los vectores X y Y, con base en el método descrito por González Ferreiro y Bosque Sendra (2008) (57). Los datos de promedio mensual y vectores obtenidos fueron imputados en un archivo de tipo vectorial de puntos con el uso del en el software Qgis 2.8.1, donde se calculó para cada vector su interpolación mediante el método de ponderación inversa a la distancia (IDW, por sus siglas en inglés), el cual asume que cada punto muestral tiene una influencia en su vecindad que disminuye con la distancia, es decir que este método da más peso a los puntos más cercanos a la celda de la que se trata de obtener el valor que aquellos que están más alejados (57). Una vez realizada la interpolación para cada vector se obtuvo una un total de 24 imágenes de tipo ráster, las cuales con el uso de la herramienta de calculadora

ráster se sumaron para cada mes respectivamente, el resultado fueron doce imágenes ráster, una por cada mes.

Lo siguiente consistió en generar trece archivos de tipo ráster mediante el método IDW, doce con los promedios de temperatura y uno con el valor de IDLH de benceno mensual. Finalmente, la capa de interpolación de contaminante fue sumada por medio de la calculadora ráster a las capas producto de promedio de viento mensual y temperatura, lo que dio de resultado la formación de zonas de riesgo por exposición a benceno.

6.7 Procedimiento para el desarrollo de la propuesta de manejo

Se identificaron los actores clave con el objetivo de llevar a cabo la propuesta de manejo enfocada a la reducción de las emisiones de BTEX que perjudican la salud de los residentes, los actores se clasifican según su ámbito de acción ya sea local, regional, nacional e internacional; su injerencia, funcionarios públicos, agencias de gobierno, sector privado, instituciones de asistencia, comunidad científica, organizaciones no gubernamentales y vecinos. Con los actores identificados y organizados se generó una matriz la cual permitió ubicar su papel y su acción para el desarrollo de propuesta de mitigación, la cual consiste en el implemento de un sistema de recuperación de vapor de fase II. Con la elección del sistema de recuperación de vapor se diseñó un mapa que ilustró la reducción teórica en la emisión de benceno.

VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presenta los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo, los cuales están dispuestos en dos apartados principales: en el primero se presentan las características de la población bajo estudio, mientras que en el segundo se describen y discuten los hallazgos conforme a los objetivos planteados que fueron en primer lugar identificar las estaciones de servicio y población residente del estado de Baja California así como la georreferenciación de las estaciones dentro de las AGEB del área urbana de Tijuana, Baja California; el segundo consistió en determinar áreas de afectación de exposición a BTEX por proximidad a estaciones de servicio. Otro objetivo fue identificar el daño genotóxico y psiconeurológico en los residentes de las proximidades a las estaciones de servicio; el cuarto consistió en definir las zonas de riesgo genotóxico y psiconeurológico por emisiones de BTEX proveniente de estaciones de servicio y el último fue elaborar recomendaciones de manejo para reducir el riesgo para la salud asociado a la exposición a BTEX.

Con lo cual, finalmente se pudo alcanzar el objetivo general que planteó establecer zonas que puedan presentar riesgo genotóxico y psiconeurológico en población humana expuesta a BTEX por emisiones de estaciones de servicio en localidades urbanas de Tijuana, Baja California.

7.1.1 Características de la población bajo estudio

La población bajo estudio estuvo compuesta por dos grupos: el primero corresponde a los expuestos y el segundo grupo se conformó de los no expuestos. Cada grupo fue subdividido a su vez bajo su respectivo sexo, sus características sociodemográficas se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características sociodemográficas de la población bajo estudio

	Expuestos		no expuestos	
N	23		9	
	M	F	M	F
Sexo	11	12	5	4
Edad (años, promedio)	25	34.41	23.8	28.25
residencia (años, promedio)			5 a 10	
distancia (metros, promedio)	139	101.6	630.8	566

7.2.1 Estaciones de servicio y población total del estado de Baja California

Dentro del estado de Baja California, hasta el 2012 se tiene registro de 509 estaciones de servicio operativas, en las áreas urbanas de Ensenada, Mexicali, Playas de Rosarito, Tecate y Tijuana. En el Cuadro 2 se muestra en orden descendente el total de gasolineras por municipio, el porcentaje que representan del total estatal y el número de habitantes por cada municipio con base en el censo de población y vivienda 2010 y su respectivo porcentaje.

Cuadro 2. Municipios del estado de Baja California, estaciones de servicio habitantes y respectivos porcentajes.

Municipio	Estaciones de servicio	Estaciones de servicio (%)	Habitantes (censo 2010)	Habitantes (%)
Tijuana	199	39.10	1,519,454.00	48.78
Mexicali	194	38.11	936,826.00	30.08
Ensenada	83	16.31	466,814.00	14.99
Playas de Rosarito	17	3.34	90,668.00	2.91
Tecate	16	3.14	101,079.00	3.25
Totales	509		3,114,841.00	

Para este trabajo, sólo se tomaron en cuenta las estaciones de servicio dentro del municipio de Tijuana. De las 199 existentes en el municipio, se descartaron nueve ya que no contaba con la información completa para el año 2012. En la Figura 6 se señala con rombos las 190 estaciones de servicio seleccionadas y operativas hasta el 2012 en toda el área urbana de Tijuana.

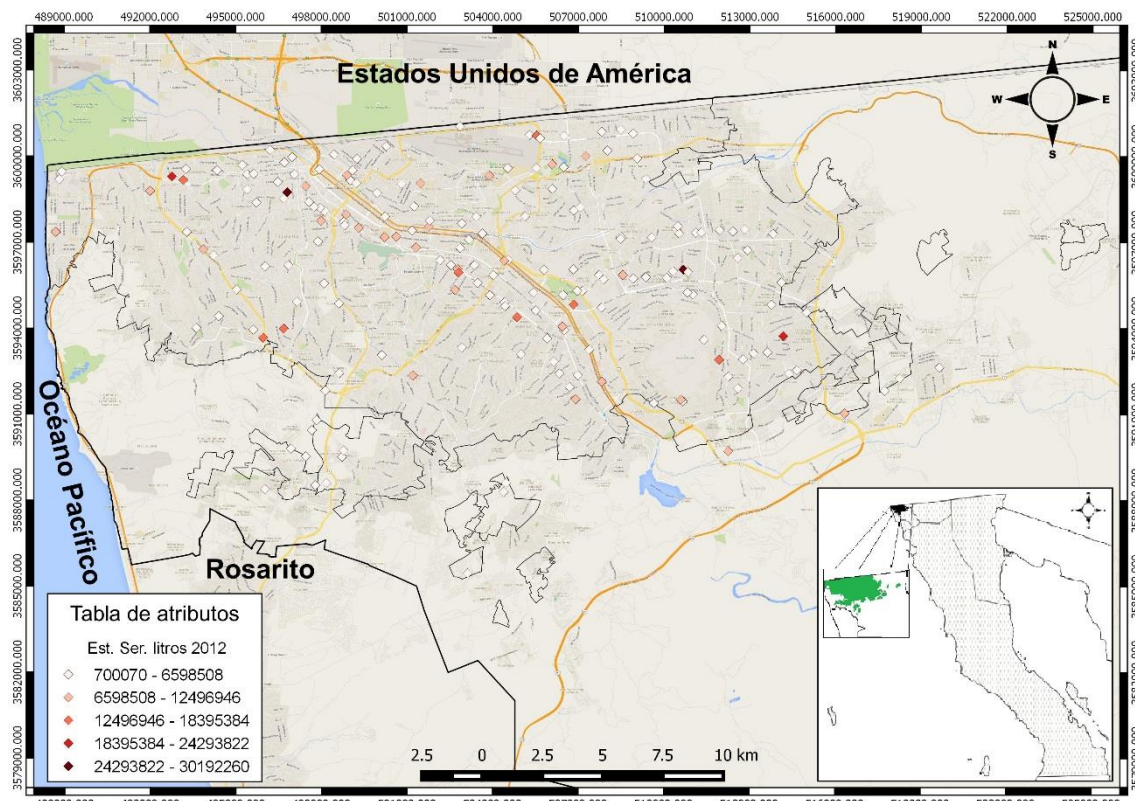


Figura 6. Estaciones de servicio con ventas en litros del 2012 categorizadas de menor a mayor dentro del área urbana de Tijuana.

Las estaciones de servicio se clasificaron en cinco intervalos con base en el volumen anual total de litros vendidos en 2012, representándose en un degradado de color naranja que en orden ascendente (Figura 6). Las dos gasolineras que tienen la mayor venta anual corresponden a la E02648 y E08070 con 30, 192,260 y 28, 749,600 litros, las cuales se encuentran situadas en la colonia Centro y Mariano Matamoros respectivamente.

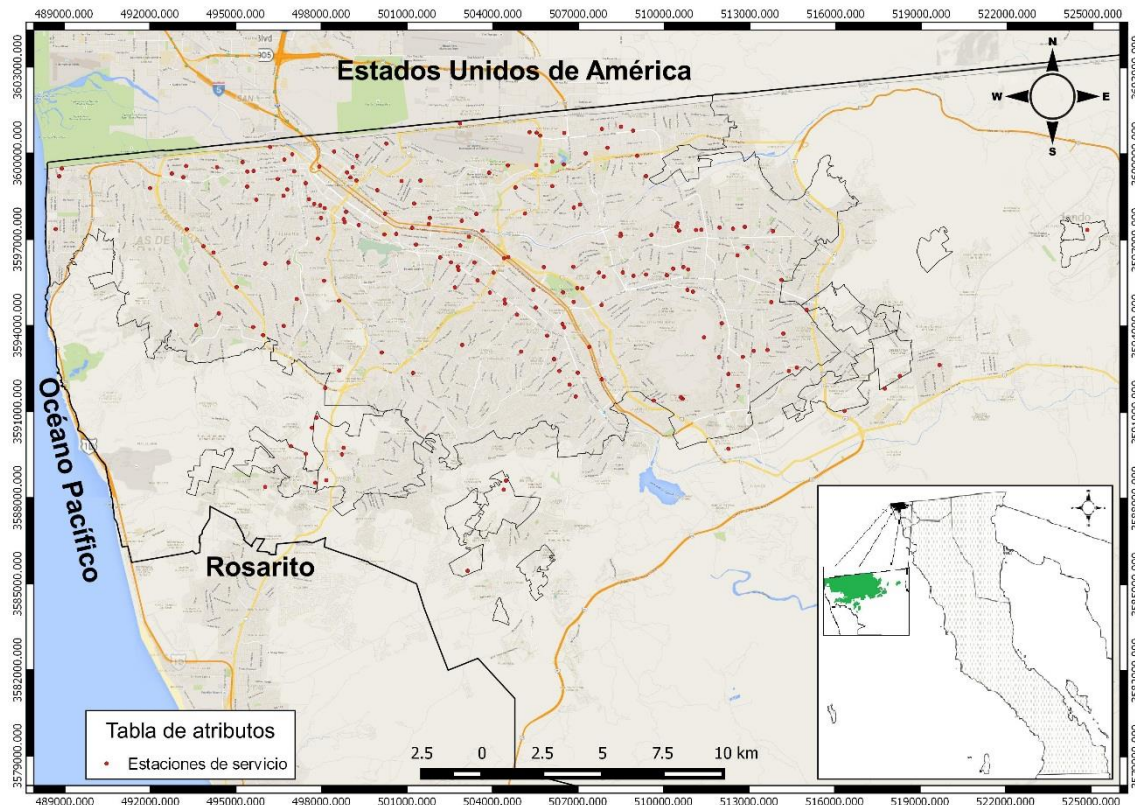


Figura 7. Estaciones de servicio distribuidas en el área urbana de Tijuana.

En la Figura 7 se observa que las estaciones de servicio, se encuentran aledañas a las vías de comunicación principales en la zona urbana de Tijuana.

La localidad urbana que tiene el mayor número de estaciones es Tijuana, con un total de 172, mientras que, sólo cinco localidades urbanas no cuentan con alguna estación ya sea dentro de ella o la cercanía, estas localidades son: Las delicias, El niño, Villa del prado 2da. Sección, Quinta del cedro y los valles. Las estaciones de servicio en su gran mayoría se encuentran distribuidas cerca de vías principales de comunicación, ejemplo Bulevares, carreteras y avenidas.

Finalmente se analizaron las estaciones de servicio con respecto a la densidad de las AGEB categorizadas de acuerdo a su densidad de población en orden ascendente. Para el municipio de Tijuana se tiene un registro de 573 AGEB distribuidas dentro del toda el área urbana, de las cuales seis tienen una población muy alta, comprendida dentro del intervalo 8,074 y 10,092, esto es mostrado en la Figura 8.

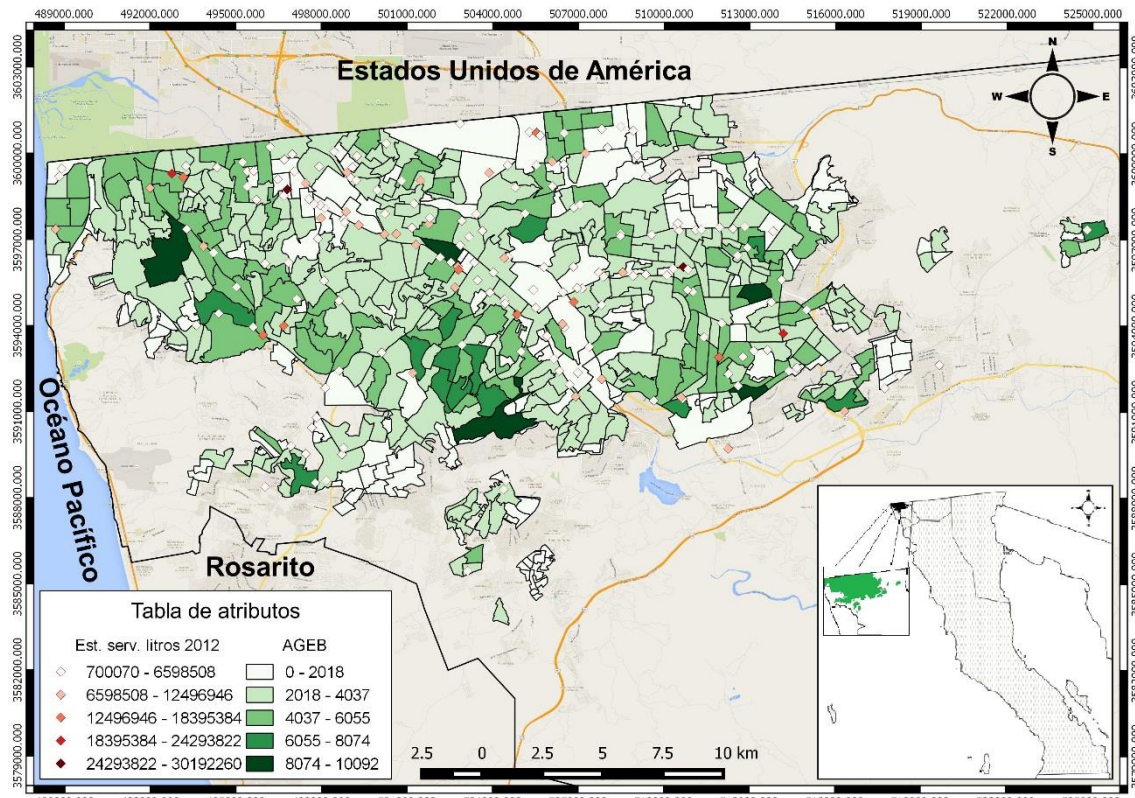


Figura 8. Estaciones de servicio distribuidas dentro del área urbana de Tijuana Baja California categorizadas por su venta en litros durante 2012, AGEB.

Las estaciones de servicio están distribuidas cerca de una vía importante de comunicación, inclusive en la gran mayoría de los casos en zonas de alta densidad poblacional, lo que por un lado ofrece una rápida forma de obtención de un energético en un tiempo relativamente corto, pero también representa una importante fuente de emisión de contaminantes y riesgo de explosión, lo que las cataloga dentro de la clasificación de zonas de peligro (38).

7.2.2 Áreas de afectación por proximidad a estaciones de servicio.

Los efectos negativos ligados a las actividades cotidianas en zonas cercanas a estaciones de servicio no han sido estudiados a profundidad, sin embargo, existen trabajos donde se habla sobre la toxicidad de algunos COVs que son emitidos por las estaciones, debido a esto Hilpert y Breysse (2014) menciona que las políticas ambientales están enfocadas a reducir la exposición a hidrocarburos provenientes de las estaciones de servicio, ya que durante el proceso de carga y descarga de gasolina suele haber derrames (tanto líquidos y gaseosos) que eventualmente contaminan la atmósfera y el suelo (58).

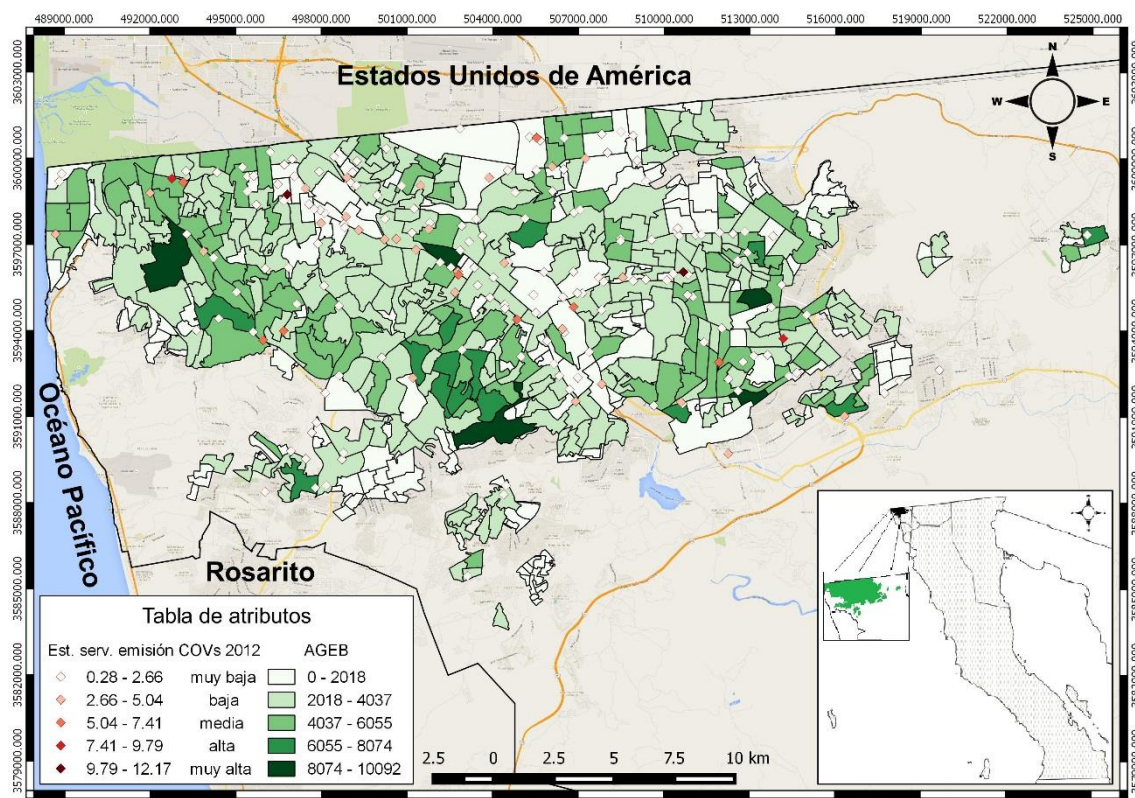


Figura 9. Estaciones de servicio categorizadas bajo su nivel de emisión de COVs durante 2012 y AGEB.

Dentro de las cinco categorías utilizadas para clasificar las estaciones de servicio por emisión de COVs expresadas en toneladas anuales, 151 estaciones de servicio quedaron agrupadas dentro del intervalo de “muy baja” emisión, el cual comprende entre 0.28 a 2.66, el siguiente intervalo de “baja” emisión que corresponde a 27 estaciones comprendidas entre 2.66 a 5.04, el tercer intervalo de emisión “media” con 8 estaciones agrupadas entre 5.04 y 7.41; finalmente los intervalos de “alta” y “muy alta” emisión cada uno con dos estaciones respectivamente, las cuales son la E08777 y E10624 dentro del intervalo 7.41 a 9.79 y las estaciones E02648 y E08070 para el intervalo 9.79 a 12.17 (Figura 9).

En el Cuadro 3, se muestra por intervalo el total de estaciones de servicio, emisiones de COVs, toneladas de benceno anuales, los kilogramos de COVs y benceno diarios correspondientes.

Cuadro 3. Intervalos de emisión de COVs y benceno anuales y diarias

Intervalos	Estaciones de servicio	Toneladas anuales de COVs	Toneladas anuales de benceno	Kilogramos de COVs diarios	Kilogramos de benceno diarios
0.28 - 2.66	151	213.38	49.72	584.60	136.21
2.66 - 5.04	27	93.07	21.69	254.99	59.41
5.04 - 7.41	8	46.98	10.95	128.71	29.99
7.41 - 9.79	2	16.04	3.74	43.95	10.24
9.79 - 12.17	2	23.75	5.53	65.068	15.16
Totales	190	393.22	91.62	1077.32	251.01

Los datos del cuadro anterior muestran que dentro de los cinco grupos el cual fueron categorizadas las estaciones de servicio, el intervalo comprendido entre 0.28 - 2.66 contribuye a la mayor emisión de COVs a la atmósfera con un total de 213.38 toneladas anuales que equivale al 54.26%, Para el año de 2012 el total de emisiones provenientes de la actividad en las estaciones de servicio fue de 393.22 toneladas anuales, esto corresponde a una producción de benceno estimada en 91.62 toneladas por año.

La Figura 10 se muestra los diversos puntos del área urbana de Tijuana expuestas a emisiones fugitivas de benceno delimitadas por el área de afectación, al igual que las AGEB aledañas a estaciones de servicio con potencial riesgo de exposición.

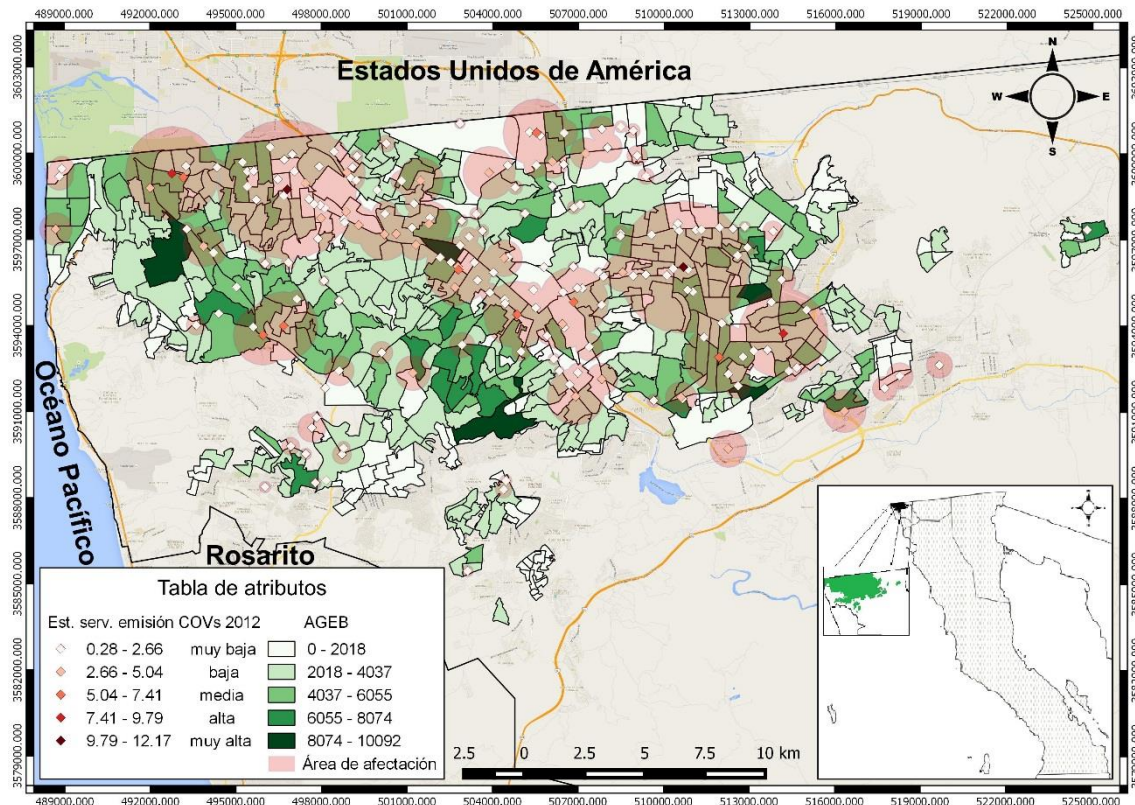


Figura 10. Áreas de afectación teóricas generadas a partir del IDLH de benceno.

El Cuadro 4 se muestra las localidades urbanas, la superficie que ocupan en el municipio, las AGEB dentro de la localidad, su población, las AGEB, población y área municipal dentro del área de afectación de benceno para el año 2012. Los resultados mostrados tanto en la Figura 10 y tabulados en el Cuadro 5, indican que el 48.50% equivalente a 736,920 habitantes dentro de las áreas urbanas de Tijuana está expuesta a una enorme carga de benceno proveniente de la gasolina expedida en las diversas estaciones.

Resultados y discusión

Cuadro 4. Localidades urbanas, superficie, AGEB, población y riesgo por emisiones de benceno

LU	SLU (Km ²)	AGEB	Pob. (INEGI 2010)	AGEBR	PobR	SLUR (km ²)
Tijuana	238.85	454	1,300,983.00	322	706,362.00	107.54
La Joya	9.20	24	26,860.00	4	2,344.00	0.78
El Refugio	2.92	13	36,400.00	4	10,825.00	0.73
Maclovio Rojas	1.94	8	7,279.00	3	2,859.00	0.50
Pórticos de San Antonio	2.90	15	34,234.00	4	6,072.00	0.31
San Luis	2.48	14	8,571.00	3	2,086.00	0.31
Terrazas del Valle	2.11	7	20,421.00	2	2,088.00	0.16
Villa del Prado	0.79	4	12,303.00	2	2,507.00	0.10
Villa del Campo	1.20	4	13,906.00	1	1,777.00	0.10
Las Delicias	1.16	12	15,486.00	0		
Parajes del Valle	0.42	2	3,595.00	0		
El Niño	1.05	4	8,999.00	0		
Lomas del Valle	0.45	1	3,352.00	0		
Villa del Prado 2da Sección	1.19	6	18,226.00	0		
Quinta del Cedro	1.04	4	5,704.00	0		
Los Valles	0.28	1	3,135.00	0		
Totales	267.99	573	1,519,454.00	345	736,920.00	110.53

Localidad urbana = (LU); superficie de la localidad urbana = (SLU); área geoestadística básica = (AGEB); población = (Pob.); área geoestadística básica en riesgo = (AGEBR); población en riesgo (PobR); superficie de la localidad urbana en riesgo (SLUR).

Cuadro 5. Porcentajes y superficie en riesgo por benceno.

AGEBR (%)	PobR (%)	SLUR (%)	SMR (Km ²)	ÁAb (Km ²)
60.20942408	48.4990003	41.24386749	116.6291	120.54191

Área geoestadística básica en riesgo = (AGEBR); población en riesgo (PobR); superficie de la localidad urbana en riesgo (SLUR); superficie municipal en riesgo (SMR); área de afectación por emisiones de benceno (AAb).

Los residentes de áreas urbanas están expuestos a una mezcla de contaminantes que actúan de diversas maneras en el organismo lo que complica su monitoreo, ligado a esto hay dos variables involucradas, las cuales son el tiempo de exposición y la concentración de los contaminantes. En el caso concreto del benceno, se tiene evidencia suficiente para catalogarlo

dentro de los contaminantes altamente peligrosos, lo que aumenta el nivel de riesgo para la población residente, ya que al realizar diversas actividades dentro del área aumentan su nivel de exposición a este contaminante en específico.

El aire limpio es indispensable para una buena salud, sin embargo, esto cambia dentro de un área urbana debido la cantidad de agentes dispersos en el aire modifica de manera significativa esta calidad, ya que las estaciones de servicio participan de manera importante debido a la venta de gasolina por que durante el despacho son emitidos diversos tipos de sustancias donde destacan los COVs y de estos los BTEX en especial el benceno que es el más riesgoso para nuestra salud. Por esto, la Agencia de protección al Ambiente (EPA) y el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) determinaron ciertos lineamientos para evaluar las emisiones de contaminantes y la concentración de diferentes sustancias que comprometen nuestra salud. La propuesta de un área de afectación con base al factor de emisión ya ha sido descrito anteriormente, esto fue realizado por García-Zarate (2013), quien propone un área alrededor de la estación de servicio de 300 metros a la redonda, corroborado por análisis de síntomas neurológicos dentro de esta zona (38) sin embargo, definir un área estándar limita posibles áreas de afectación ya que puede haber estaciones de servicio que tengan una mayor venta que otras por lo tanto, esto modifica su tasa de emisión de COVs. Por esto mismo, la incorporación de datos como el factor de emisión e ILDH de una sustancia permite delimitar un área de afectación con respecto a su emisión de COVs.

7.2.3 Evaluación del daño citotóxico, genotóxico y Cuestionario de Síntomas neuroconductuales

Se realizaron un total de 30 micrografías, de los distintos tipos de morfología nuclear observadas para este estudio, de las cuales fueron seleccionadas 18 (Anexo 8), donde fue posible apreciar las principales características para su clasificación; además se contabilizó un total de 64,000 células, los datos de las anomalías se registraron en el Cuadro 6, donde se muestran el promedio y el error estándar por cada anomalía celular agrupada según la exposición al igual que los indicadores de daño citotóxico, genotóxico, necrosis y apoptosis.

Cuadro 6. Promedios generales de distintas anomalías nucleares expresados por 2000 células y su error estándar.

biomarcador	Expuesto		No expuesto	
	M	F	M	F
Basales	17.64±2.83	16.58±5.57	3.80±1.28	1.50±1.73
Cromatina condensada	6.36±1.58	12.58±14.39	0.80±0.58	1.75±1.71
Picnosis	24.36±3.48	37.17±30.05	3.60±0.81	4.50±2.52
Cariorrhexis	23.82±7.32	15.67±10.59	2.80±1.36	2.50±2.38
Cariolisis	12.18±1.72	12.17±10.02	4.60±0.68	3.50±1.73
Micronúcleos	0.55±0.25	1.08±1.62	0.20±0.20	0.00±0.00
Binucleadas	16.00±2.89	12.25±5.31	2.20±0.37	1.25±1.26
Brotos nucleares	3.73±0.85	4.50±3.29	0.00±0.00	0.00±0.00
Anomalías totales	100.91±6.39	107.50±9.43	18.00±2.57	15.00±5.02
Apoptosis	54.55±8.75	65.42±10.28	0.01±0.00	8.75±2.95
Citotoxicidad total	42.91±4.55	61.92±8.48	0.00±0.00	9.75±2.56
Necrosis	66.73±7.92	77.58±9.91	7.20±1.96	12.25±3.64
Daño genotóxico total	20.27±2.69	17.83±1.83	0.00±0.00	1.25±0.63

De los 32 sujetos participantes solo se seleccionaron 16, ya que de las tres calificaciones (discreta, moderada y severa) dadas en el cuestionario para cada uno de los cinco criterios de evaluación (inestabilidad psiconeurovegetativa [PsN], síntomas neurológicos [N], astenia [A], irritabilidad [E], y concentración y memoria [DK]), solo se tomó en cuenta las valoraciones de moderado y severo; esto es observado en la Figura 11 y Cuadro 7, el síntoma de concentración y memoria [DK], caracterizado por distraerse fácilmente, dificultad para recordar cosas sencillas, estar distraído, falta de memoria y concentración en ambas escalas representaron los valores de frecuencia más altos con seis en moderado y siete en severo, en segundo lugar se encuentran los síntomas de astenia [A] caracterizada por no tener ánimos para trabajar ni interés por nada, sentirse fastidiado de todo, lentitud de los movimientos, no tener energía y no querer saber nada de nadie y los síntomas neurológicos [N] que comprende mareos, vómitos, pérdida de la fuerza muscular, perturbaciones del equilibrio, inseguridad al caminar, hormigueos en pies y manos, trastornos en las relaciones sexuales, pesadez en las articulaciones y temblores en los brazos y

piernas con valores de frecuencia de cinco en la escala moderada y de tres en la escala de severa.

Cuadro 7. Incidencia de los síntomas psiconeurológicos

Síntomas psiconeurológicos	Moderado	Severo
Psiconeurovegetativa [PsN]	3	1
Síntomas neurológicos [N]	5	3
Astenia [A]	5	3
Irritabilidad [E]	1	2
Concentración y memoria [DK]	6	7

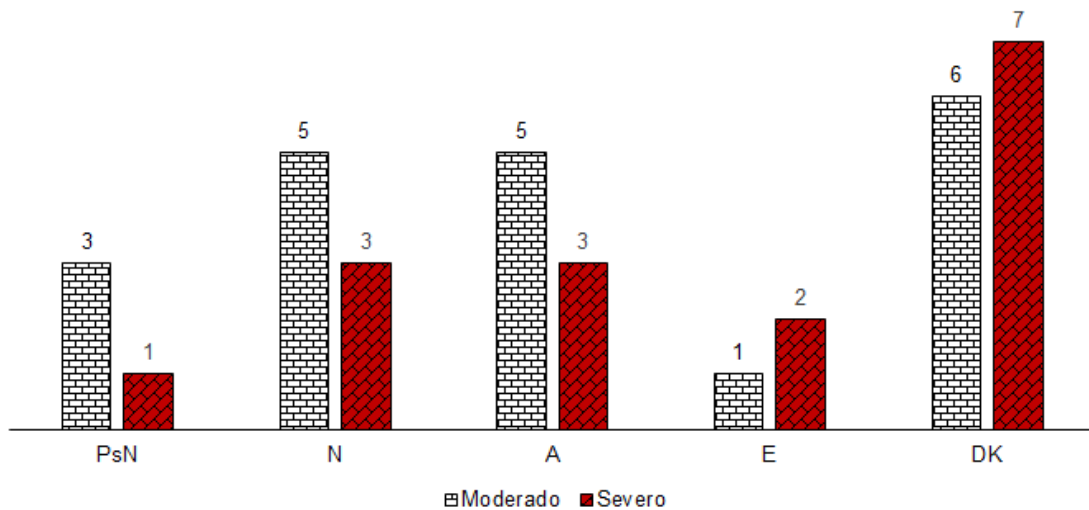


Figura 11. Incidencia de síntomas psiconeurológicos; inestabilidad psiconeurovegetativa [PsN], síntomas neurológicos [N], astenia [A], irritabilidad [E], y concentración y memoria [DK].

7.2.3.2 Correlación del daño, síntomas neuroconductuales entre los indicadores sociodemográficos

La correlación entre los distintos tipos de anomalías celulares conjuntados en los indicadores de apoptosis [Apo.], necrosis [Nec.], citotoxicidad total [Ctt.], daño genotóxico total [Dgt.] al igual que la frecuencia de células basales [BS] sumado a los síntomas psiconeurológicos y los indicadores sociodemográficos son explicados mediante un análisis de conglomerados, el cual utilizó la regla de amalgamación del método de Ward y la medida de distancia $1 - r$ de Pearson. Con estos criterios se generaron dos dendrogramas: el primero explora las relaciones entre los indicadores de daño y su relación con las variables sociodemográficas, lo cual dio la formación de tres grupos con once

Resultados y discusión

variables. El primer grupo aglomeró las variables de Edad, Salud, Vida, Dieta e IMC, a una distancia de 1.1465 unidades, el segundo grupo unió a una distancia de 0.4272 las variables de nivel de exposición [Niv. ex.] células basales [BS] y daño genotóxico total [Dgt.], y a su vez, a una distancia de 1.2264 las variables de apoptosis [Apo.], necrosis [Nec.] y citotoxicidad total [Ctt.] (Figura 12).

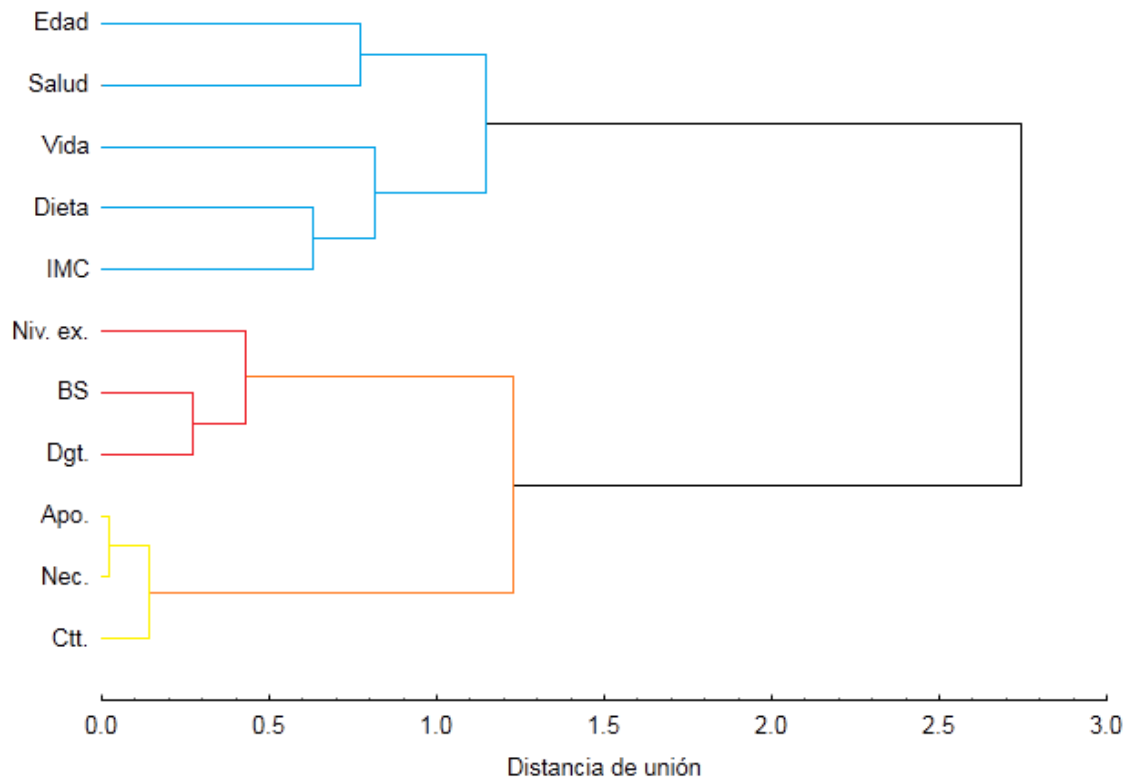


Figura 12. Dendrograma de relación entre variables sociodemográficas e indicadores de daño citotóxico y genotóxico.

El segundo dendrograma inspecciona las relaciones entre los indicadores de daño y los síntomas psiconeurológicos, esta indagación dio los resultados de la formación de tres grupos con doce variables. El primer grupo ligado a una distancia de 1,089 unidades, vincula las variables de células basales [BS], nivel de exposición [Niv. ex.], daño genotóxico total [Dgt.], irritabilidad [E] y síntomas neurológicos [N]; hermanado al primer grupo a una distancia de 1.2629 unidades, se encuentran las variables de apoptosis [apo.], necrosis [Nec.] y citotoxicidad total [Ctt.]. Finalmente, a tan solo 1.2629 se juntan las variables de inestabilidad psiconeurovegetativa [PsN], astenia [A], concentración y memoria [DK] y la distancia expresada en logaritmo [Log. Dist.] (Figura 13).

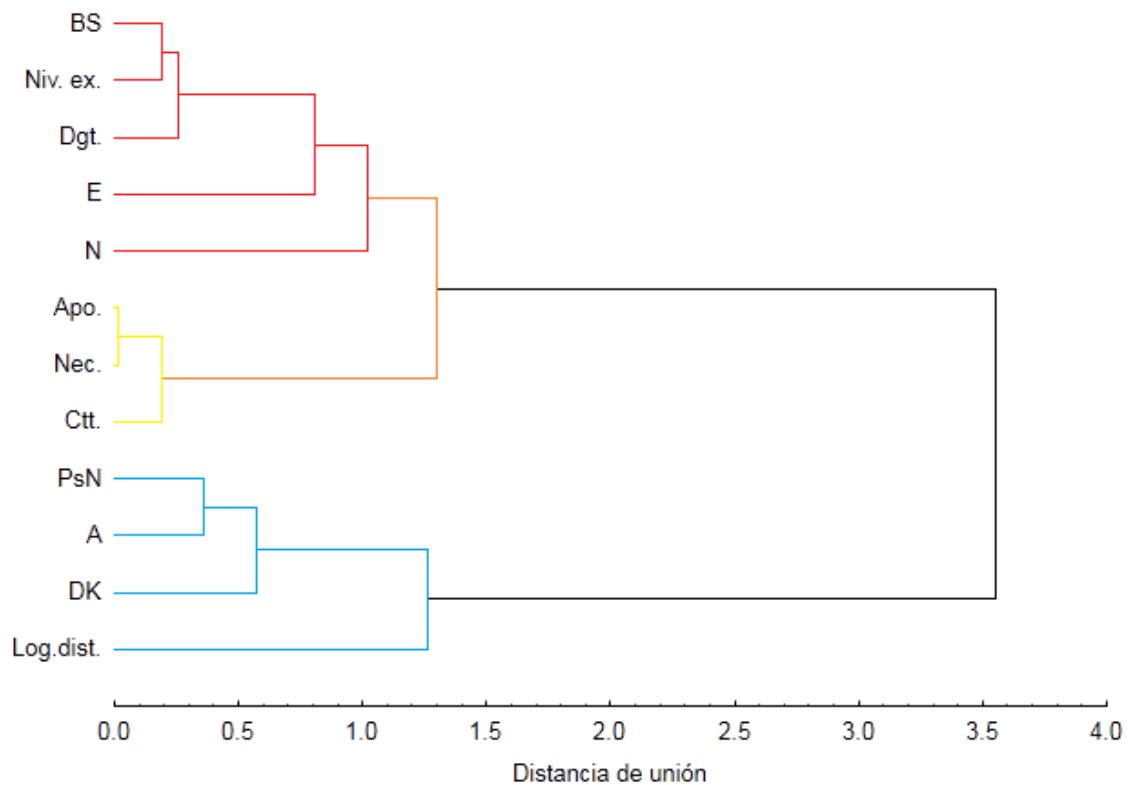


Figura 13. Dendrograma de relación entre variables psiconeurológicas e indicadores de daño citotóxico y genotóxico.

Existe cierto desconocimiento sobre los mecanismos que propician las distintas sustancias neurotóxicas sobre el sistema nervioso sin embargo, los estudios apuntan a tres direcciones: cambios en el metabolismo del oxígeno lo que desencadena alteraciones funciones celulares, debido a su afinidad estructural surge una competencia entre las neurotóxicas y los neurotransmisores y finalmente estas sustancias atacan las bandas de mielina que da como resultado una alteración en la transmisión de los impulsos nerviosos (56). El daño neurológico no es sencillo de diagnosticar mediante análisis convencionales, para su detección deben realizarse una serie de pruebas que abarquen todas las funciones neuropsicológicas. Los resultados obtenidos de los cinco indicadores de síntomas neurológicos permiten explicar la relación del daño neurológico por exposición a BTEX, por su naturaleza química tienen una alta afinidad por tejido nervioso, lo que puede desencadenar diversos efectos en el sistema nervioso central y periférico de los cuales destacan las cefaleas, cambios de ánimo, depresión, irritabilidad, entre otros (1).

Se observó en el Cuadro 7 y Figura 11, el 50% de la población encuestada mostró al menos en algún criterio los efectos de moderado o sobresaliente, lo que permite estimar una relación directa entre alteraciones neurológicas y la exposición prolongada a emisiones fugitivas de BTEX. Esta afirmación es apoyada por Dechamps y colaboradores (1993) que menciona sobre la exposición prolongada a solventes trae consigo una degeneración neurológica conocida bajo el término de síndrome orgánico cerebral (59), al igual que los resultados planteados por García y colaboradores (2014), donde los mismos criterios (concentración y memoria, síntomas neurológicos y astenia) presentan los valores más elevados (1).

En el primer dendrograma (Figura 12), se aprecia la formación de un grupo formado por el indicador de daño genotóxico total (micronúcleos, binucleadas y buds) ligado al número de las células basales y a su vez con el nivel de exposición, dado que la proliferación de estos tipos celulares está directamente relacionado con eventos de daño genético, que fue corroborado por los estudios de Çelik y colaboradores(2003) y Rajkokila y colaboradores (2010) quienes mencionan que una prolongada exposición a contaminantes como los vapores de gasolina trae consigo el aumento de micronúcleos y células binucleadas, a la larga es probable que desencadene problemas de salud graves y cáncer (60), (61). De igual manera, esta afirmación sustentada por la unión del grupo anterior con los indicadores de apoptosis, necrosis y citotoxicidad total es producto del mecanismo de eliminación del daño genético (18).

Finalmente la segregación en un solo grupo de la gran mayoría de las variables socioeconómicas es indicativo de que estas no tienen relación aparentemente con él con el daño genotóxico.

La relación entre los distintos indicadores de daño y los síntomas psiconeurológicos son observados en el segundo dendrograma (Figura 13), en el primer grupo los síntomas neurológicos e irritabilidad se unen con el daño genotóxico total, nivel de exposición y células basales, inmediatos a estos están unidos el grupo que presenta los distintos tipos de muerte celular. Y el tercer grupo expone los síntomas de psiconeurovegetativo, astenia y

concentración u memoria ligados a la distancia comprendida de la estación de servicio hasta la residencia. Esto se explica ya que los solventes volátiles presentes en la gasolina es sabido que tiene efectos sobre el sistema nervioso los cuales son: alteraciones de la conducta, cambios de ánimo, trastornos del sueño, déficit de memoria, también es causante de trastornos fisiológicos principalmente pérdida de fuerza muscular, alteraciones en el metabolismo y a nivel celular el benceno está demostrado que causa problemas durante la replicación del ADN donde interfiere en la actividad de la enzima topoisomerasa II (62) (63) (1).

7.2.4 Modelo de viento, dispersión del contaminante y delimitación de áreas de afectación

Se generaron un total de 61 imágenes ráster las cuales para el análisis de delimitación de áreas de afectación fueron utilizadas las correspondientes a la suma del flujo de viento, temperatura promedio y emisión de contaminante que en este caso es benceno. En la Figura 14 se observa la dispersión de la pluma de benceno agrupadas bajo el fenómeno de islas de calor en el área urbana de Tijuana las cuales están enumeradas para su identificación. Primeramente es posible apreciar tres zonas de un alto riesgo por contaminación las cuales corresponden a la parte norte de playas de Tijuana (1), colonia obrera en la intersección del libramiento sur y Av. Álvaro Obregón (2) y zona centro (4). La siguiente área de riesgo consiste en cuatro puntos distribuidos a lo largo del corredor Blvd. Aguacaliente y Gustavo Díaz Ordaz (3). Tres zonas más están ubicadas en la zona conocida bajo el nombre de la Mesa de Otay, que corresponde al campus principal de la Universidad Autónoma de Baja California (6), la cercanía al Instituto Tecnológico de Tijuana unidad Tomas Aquino (7) y de menor área la zona aledaña a la garita de Otay (8). Finalmente de menor intensidad se encuentran dos puntos ubicados al sureste cercano al Blvd. De los insurgentes (5) y un área al sur de playas de Tijuana (9).

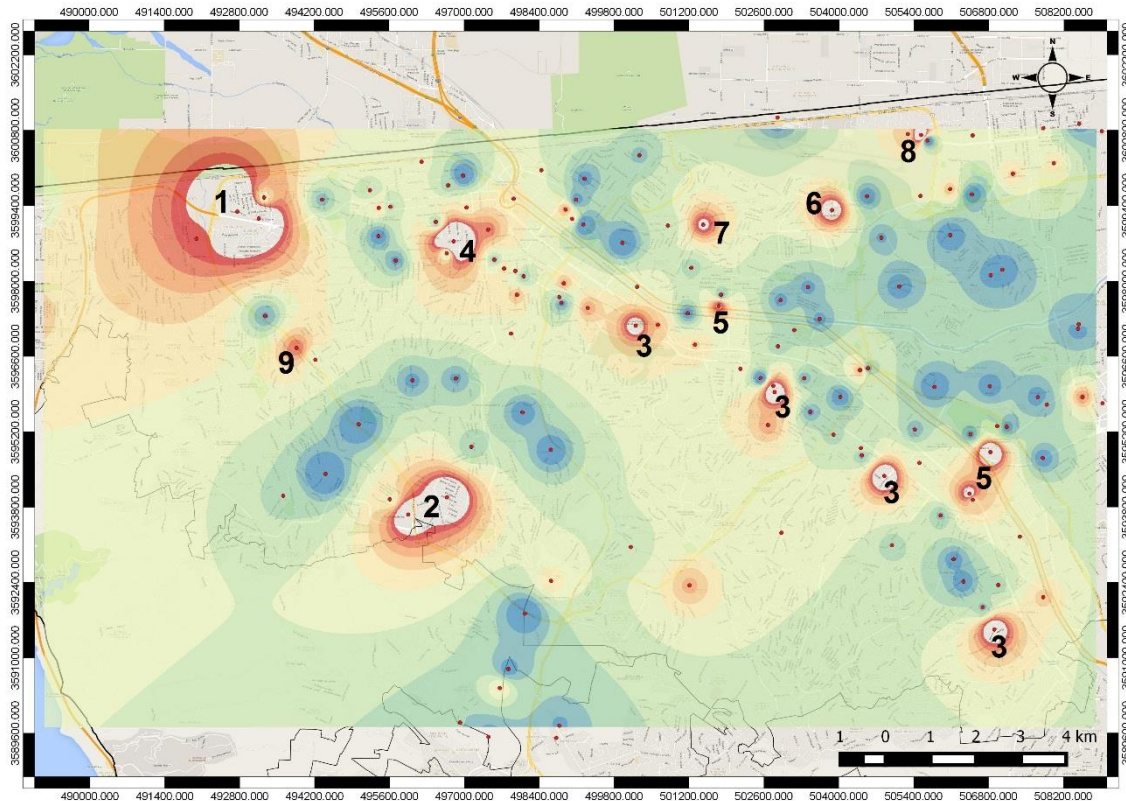


Figura 14. Áreas de afectación dentro el área urbana de Tijuana generadas con la unión de los datos de viento, temperatura media y emisión de benceno.

En Cuadro 8 se muestra el tamaño del área más próxima a la estación de servicio y el total de la isla de calor expresado en kilómetros cuadrados de las principales áreas de riesgo por exposición a emisiones de benceno, donde la zona de Playas de Tijuana norte (1) bajo este análisis es la que presenta mayor riesgo, seguida de la zona ubicada en libramiento sur (2) y en tercer lugar el centro histórico de la ciudad (4).

Cuadro 8. Tamaño de área más próxima a la estación de servicio y el total de la isla de calor, ambos expresados en kilómetros cuadrados (Km²)

Código	Zona	Área Km ²	
		Más próxima	Total
1	Playas de Tijuana norte	2.937	17.415
2	Libramiento sur	1.371	4.787
3	Corredor Blvd. Aguacaliente y Gustavo Díaz Ordaz	1.006	4.693
4	Centro	0.51	2.433
5	Blvd. Insurgentes	0.38	1.723
6	UABC campus Tijuana	0.24	0.8
7	ITT unidad Tomás Aquino	0.12	0.61
8	Garita de Otay	0.1	0.3
9	Sur de playas de Tijuana	0.0062	0.54

Los métodos de interpolación permiten encontrar valores desconocidos a partir de una serie de datos, para el caso de este trabajo los resultados obtenidos por medio del método IDW arrojaron la existencia de múltiples zonas de riesgo las cuales son representadas gráficamente en la Figura 14 y se conocen bajo el concepto descrito por Solecki y colaboradores (64) de islas de calor o UHI (Urban Heat Island, por sus siglas en inglés) las cuales son el resultado de la interacción de la temperatura, viento, radiación solar, contaminantes y estructuras urbanas (concreto, o asfalto), lo cual ocasiona la acumulación de calor excesivo y por consecuencia una baja dispersión de los contaminantes hacia estratos más elevados de la atmósfera es decir, una mayor concentración de los contaminantes son distribuidos hacia otras áreas de la zona urbana de Tijuana y a los estados unidos. Este mismo fenómeno es descrito para la ciudad de Ensenada, Baja California por García-Zarate y colaboradores (2) quienes mencionan que la exposición prolongada posibilita el daño a la salud, este hecho es planteado por García-Zarate y colaboradores (1) y corroborado con resultados mencionados anteriormente en este trabajo.

7.2.5 Propuesta de manejo

Se identificaron los actores clave para llevar a cabo la propuesta de manejo con el fin de mitigar las emisiones fugitivas provenientes de la actividad desarrollada en las gasolineras, estos actores se clasificaron según su ámbito de injerencia en cuatro niveles: local, regional, nacional e internacional y divididos en: funcionarios públicos, agencias gubernamentales, instituciones de asistencia y comunidad científica, sector privado, organización civil, organizaciones no gubernamentales y vecinos, el resultado es observado en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Actores potenciales identificados para el desarrollo de la propuesta para la mitigación de emisiones fugitivas provenientes de las estaciones de servicio.

Actores	local	regional	nacional	internacional
funcionarios públicos	Secretario de desarrollo urbano y ecología,	Director de ecología general del estado, Director general de servicios médicos	Secretario de medio ambiente y recursos naturales, secretario de salud, comisionado federal, directora general del INECC.	
Agencias gubernamentales	SDUE, DAU, DPA, DOIUM, DSPM, CATASTRO, PROMUN, IMPLAN.	SIDUE, SPABC, ISESALUD, Gob BC	SEMARNAT, SSA, COFEPRIS, INECC	EPA, ATSDR
Instituciones de asistencia y comunidad científica	UABC, CICESE, COLEF	UABC, CICESE, COLEF		
Sector privado	PEMEX	PEMEX	PEMEX	
Organización civil	N/A	NA	CEMDA, México haz algo, Respira México,	
ONG	N/A	N/A	N/A	
Vecinos	Residentes			

La propuesta planteada para la mitigación de emisiones fugitivas consiste en el implemento de un recuperador de vapor de fase II, el cual es acoplado en la pistola dispensadora de combustible, este aditamento tiene la función de capturar el vapor de gasolina desplazado del tanque durante el llenado del mismo (Figura 15). En el Cuadro 10 se observa dos escenarios, el primero muestra la tendencia de emisión de COVs sin el recuperador de vapores, mientras que el segundo muestra la reducción de las emisiones con el equipamiento del recuperador.

En la Figura 16 se observa un mapa el cual ejemplifica la reducción de las áreas de afectación con el uso del recuperador de vapores de fase II, lo cual bajo este escenario reduce el área municipal total en riesgo de 116.6291 km² a tan solo 17.49 km² y la mancha de emisiones de benceno se ven reducidas hasta 18.08km² por día.



Figura 15. Recuperador de vapor de fase II incorporado a la pistola de despacho de gasolina (foto por Guillermo Oñate ©)

Cuadro 10. Escenario actual y con implemento del recuperador de vapor de fase II (RV FII) y su reducción en las emisiones durante un año y un día de labor.

	Escenario actual		Escenario con RV FII	
	t/a	Kg/día	t/a	Kg/día
COVs	393.22	1077.32	1.18	3.23
benceno	91.62	251.01	0.27	0.75

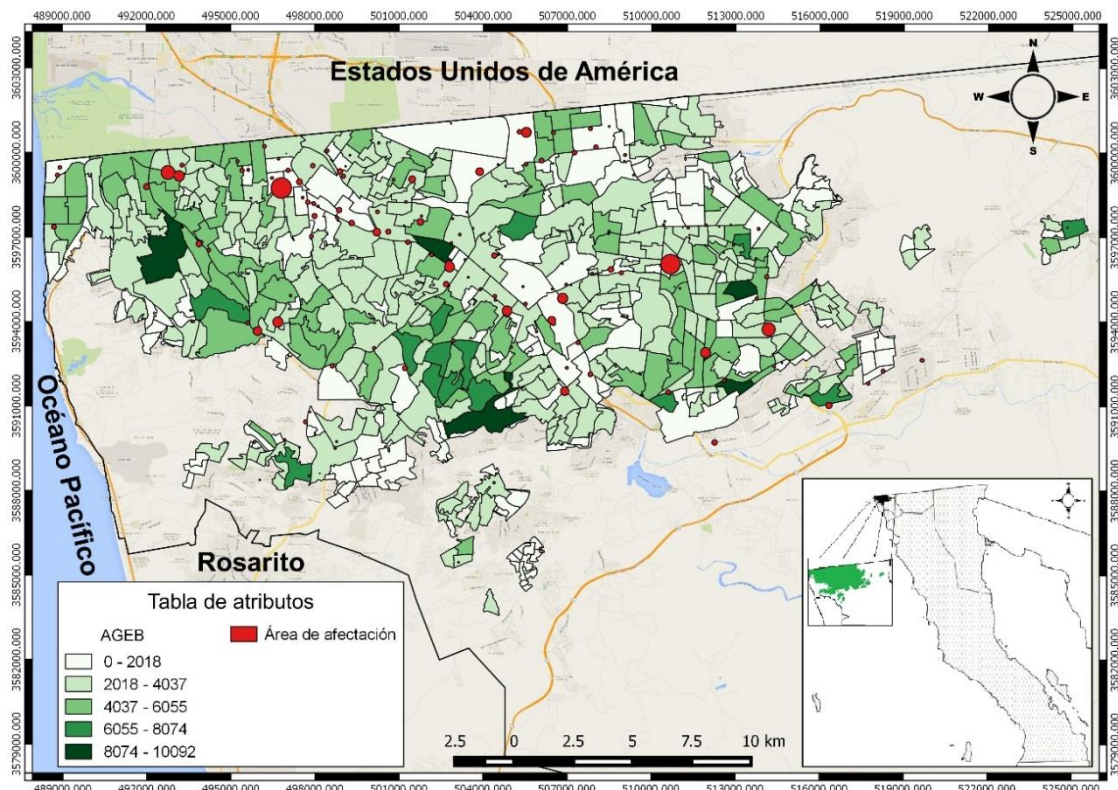


Figura 16. Áreas de afectación teóricas con el implemento del recuperador de vapor de fase II.

Para que una estación de servicio pueda operar deben incluir dentro de su infraestructura el equipamiento de recuperadores de vapor, ejemplo de esto podemos observar en la gran mayoría de Europa y en su totalidad en Estados Unidos, ya que bajo sus reportes la disminución en las emisiones se estima hasta un 85% (65) (66) (67) (68) (69). Los beneficios obtenidos con la disminución en las emisiones de COVs en zonas urbanas influyen de manera positiva en el sector económico y salud. Para el caso del sector económico el beneficio ocurre durante la recuperación de los vapores ya que estos al condensarse pueden volver a ser vendidos, un ejemplo de esto puede ser observado con el uso de los datos de venta en litros durante el año 2012. La venta total de gasolina en litros equivale a 975, 910,270, mientras que con el implemento del recuperador de fase II se pudo haber rescatado el total de 2, 927,730.81 litros, que corresponde a la suma de gasolina Magna y Premium, esto con el precio promedio de la gasolina actual de 16 pesos se obtiene un total de 40, 988,231.34 pesos y en dólares equivale a 2, 561,764.46. Finalmente, el beneficio referente al sector salud, consiste en la reducción significativa de riesgos producto a la exposición a sustancias peligrosas en el caso de benceno ya que esto fue mencionado en párrafos anteriores los efectos referidos a su exposición a corto y largo plazo van desde problemas neurológicos hasta la manifestación de padecimientos crónico-degenerativos.

VIII CONSIDERACIONES FINALES Y RECOMENDACIONES DE MANEJO

En este estudio se utilizaron distintas técnicas, métodos e instrumentos para el análisis del efecto ocasionado por BTEX provenientes de emisiones fugitivas de estaciones de servicio a una escala celular, neuroconductual y geográfica. El estudio del primer nivel pudo realizarse gracias al uso de una técnica con la capacidad de observar el daño acumulado con el uso de una serie de biomarcadores estandarizados, en el segundo nivel fue necesario utilizar un instrumento validado el cual reflejó distintos síntomas, que debido a su cotidianidad la población no asume que es consecuencia a la exposición a sustancias tóxicas. Finalmente en la tercera escala, se estimó el área la cual está dentro de la zona de riesgo y como estas por factores físicos son capaces de dispersarse hacia otras regiones.

Este trabajo solo pudo ser posible gracias a investigación interdisciplinaria ya que de esta manera fue posible dilucidar la intrincada relación de los factores involucrados, lo que permitió proponer una estrategia viable para su control y una recomendación de mitigación del daño acumulado. Sin embargo, esto solo constituye una parte a la solución, la cual para ser concretada debe haber una comunicación entre todos los actores involucrados desde la concientización de la población en riesgo por parte de la academia y lo siguiente es la exigencia de estos dos grupos a los actores dentro de gobierno e industrial dentro del rubro de los hidrocarburos.

Para minimizar el daño acumulado por residir y laborar dentro de las áreas de afectación, se sugiere el llevar una dieta balanceada así como el consumo de sustancias protectoras del genoma, las cuales son las vitaminas B9 y B12. Esta observaciones son descritas por Fenech (2001, 2012), el cual menciona que el suministro de dosis por encima de los requerimientos nutricionales (B9=400µg; B12=2.4µg por día) son suficientes para mantener la estabilidad genómica frente a diversos factores de riesgo que en este caso es la exposición a emisiones de gasolina. (26), (70).

IX CONCLUSIONES

- A partir de los datos de emisiones e IDLH fue posible diseñar un modelo de área de afectación que evidencia las zonas en riesgo potencial por exposición a benceno y que durante un año de operación son vertidos a la atmósfera alrededor 91.62 toneladas de este contaminante.
- El estimado por medio del modelo de áreas de afectación desarrollado en este trabajo indica que 736,920 habitantes distribuidos en 345 AGEB se encuentran en riesgo por exposición a benceno.
- El modelo de área de afectación está diseñado con base a datos de gasolina de frontera, para su repetitividad en distintas zonas del país es necesario contar con los datos de emisión de COVs así como las respectivas constantes.
- Se encontró que los biomarcadores de picnosis, cariorrexis y células binucleadas fueron los más representativos en este estudio, e indicativo de daño genotóxico, así como una relación directa entre la exposición prolongada a emisiones de gasolina el daño citológico y neurológico.
- Los valores más elevados del cuestionario P.N.F. corresponden a síntomas neurológicos, astenia y concentración y memoria, lo que indica que existe un riesgo potencial al desarrollo de trastornos neurológicos por exposición a las emisiones fugitivas de gasolina en los residentes de Tijuana.
- El método IDW reveló zonas de riesgo de exposición a emisiones de benceno debido al fenómeno conocido bajo el nombre de isla de calor.
- Con el uso del recuperador de vapores de fase II se puede reducir hasta un 85% las emisiones de COVs, lo que representa una reducción de la

Conclusiones

mancha de benceno de 251.01 kilogramos diarios a tan solo 0.75 kilogramos diarios.

- Para llevar a cabo la propuesta de manejo es necesario desarrollar acciones conjuntas entre los actores potenciales, donde la comunidad científica debe iniciar mecanismos de concientización para los residentes y esto escale hacia la formación de asociaciones civiles, ONG y finalmente esto influya en los actores gubernamentales y finalmente al privado.

X REFERENCIAS

1. *Emisión de BTEX por las gasolineras, proximidad geográfica y síntomas neurológicos en residentes de Ensenada, Baja California, México.* **García, M., y otros, y otros.** 2014, ECORFAN-MEXICO, Vol. 2, págs. 124-139.
2. *Mapa cualitativo para el análisis de riesgo por BTEX por proximidad con gasolineras en la ciudad de Ensenada, Baja California, México.* **García Zarate, MA., y otros, y otros.** 1, 15 de Jun de 2015, M. Rev. salud ambient., Vol. 15, págs. 4-12.
3. **Sutherland, W.** *Plants A Different Perspective.* 2010.
4. **ATSDR.** *Toxicological profile for automotive gasoline.* Atlanta, GA: U.S. : Department of Health and Human Services, Public Health Service., 1995.
5. **IARC.** International Agency for Research on Cancer. *International Agency for Research on Cancer.* [En línea] 18 de Marzo de 2014. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/>.
6. *Characterization of gas station emissions during the CAREBeijing 2008 field study.* **Zheng, J., y otros, y otros.** 2011, Atmospheric Chemistry & Physics Discussions., págs. 14719-14746.
7. *Volatile organic compounds in Tijuana during the Cal-Mex 2010 campaign: Measurements and source apportionment.* **Zheng, J., y otros, y otros.** 2013, Atmospheric Environment, págs. 521-531.
8. *La definición de salud de la Organización Mundial de la Salud y la interdisciplinariedad.* **Alcántara Moreno, G.** 2008, Sapiens, págs. 93-107.
9. *The micronucleus assay in human buccal cells as a tool for biomonitoring DNA damage: the HUMN project perspective on current status and knowledge gaps.* **Holland, N., y otros, y otros.** 2008, Mutation Research., págs. 93-108.
10. *Biomonitoring of oral epithelial cells in petrol station attendants: Comparison between buccal mucosa and lateral border of the tongue.* **Martins, RA., y otros, y otros.** 2009, Environment International, págs. 1062-1065.
11. *The HUMNxl scoring criteria for different cell types and nuclear anomalies in the buccal micronucleus cytome assay - an update and expanded photogallery.* **Bolognesi, C., y otros, y otros.** 2013, Mutat Res., págs. 100-13.
12. *The relative biological efficiency of single doses of fast neutrons and gamma-rays on Vicia faba roots and the effect of oxygen. Part II. Chromosome damage: the production of micronuclei.* **Evans, HJ., Neary, GJ. y Williamson, F.** 1959., Int. J. Rad. Biol., Vol. 3, págs. 216–229.
13. *Trenimon-induced chromosomal damage in bone-marrow cells of six mammalian species, evaluated by the micronucleus test.* **Matter, B. y Schmid, W.** 1971, Mutat. Res., págs. 417-425.
14. *The micronucleus test. Methodological aspects.* **Von Ledebur, M. y Schmid, W.** 1973, Mutat. Res., Vol. 19, págs. 109–117.
15. *The micronucleus test.* **Schmid, W.** 1975, Mutat. Res., Vol. 31, págs. 9-15.

16. *The persistence of micronuclei in peripheral blood erythrocytes: detection of chronic chromosome breakage in mice.* **Schlegel, R. y MacGregor, JT.** 6, 1982, Mutat Res., Vol. 104, págs. 367-369.
17. *Adaptation of the DNA-repair and micronucleus tests to human cell suspensions and exfoliated cells.* **Stich, HF., San, RH. y Rosin, MP.** 1983, Ann. N Y Acad. Sci., Vol. 407, págs. 93-105.
18. *Micronuclei and other nuclear anomalies in buccal smears: A field test in Snuff Users.* **Tolbert, PE., Shy, CM. y Allen, JW.** 8, 15 de Oct 15 de 1991 , Am J Epidemiol., Vol. 134, págs. 840-850.
19. *Micronuclei and other nuclear anomalies in buccal smears: methods development.* **Tolbert, PE., Shy, CM. y Allen, JW.** 1, Feb de 1992, Mutat Res., Vol. 271, págs. 69-77.
20. *The use of the micronucleus test on exfoliated cells to identify anti-clastogenic action in humans: a biological marker for the efficacy of chemopreventive agents.* **Rosin, MP.** 2, Jun de 1992, Mutat Res., Vol. 267, págs. 265-276.
21. *Micronuclei in lymphocytes and exfoliated buccal cells of postmenopausal women with dietary changes in folate.* **Titenko-Holland, N., y otros, y otros.** 2-3, 11 de Sep de 1998, Mutat Res., Vol. 417, págs. 101-114.
22. *Prediction of radiosensitivity of oral cancers by serial cytological assay of nuclear changes.* **Bhattathiri, NV., y otros, y otros.** 1, Oct de 1998, Radiother Oncol. , Vol. 49, págs. 61-65.
23. *The micronucleus assay in exfoliated buccal cells: application to occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons.* **Karahalil, B., Karakaya, AE. y Burgaz, S.** 1, 7 de Jun de 1999, Mutat Res., Vol. 442, págs. 29-35.
24. *Harmonisation of the micronucleus assay in human buccal cells--a Human Micronucleus (HUMN) project (www.humn.org) initiative commencing in 2007.* **Fenech, M., y otros, y otros.** 1, Jan de 2007, Mutagenesis., Vol. 22, págs. 3-4.
25. *State of the art survey of the buccal micronucleus assay--a first stage in the HUMN(XL) project initiative.* **Bonassi, S., y otros, y otros.** 4, Jul de 2009, Mutagenesis., Vol. 24, págs. 295-302.
26. *Folate (vitamin B9) and vitamin B12 and their function in the maintenance of nuclear and mitochondrial genome integrity.* **Fenech, M.** 2012., Mutat Res., págs. 21-33.
27. *Use of the micronucleus assay with exfoliated epithelial cells as a biomarker for monitoring individuals at elevated risk of genetic damage and in chemoprevention trials.* **Majer, BJ., y otros, y otros.** 2001, Mutat Res., págs. 147-172.
28. *Cytokinesis-block micronucleus cytome assay.* **Fenech, M.** 5, 2 de 2007, Nat Protoc. 2007;2(5):1084-104., Vol. 2, págs. 1084-1104.
29. *The HUman MicroNucleus project on eXfoLiated buccal cells (HUMN(XL)): the role of life-style, host factors, occupational exposures, health status, and assay protocol.* **Bonassi, S., y otros, y otros.** 2011, Mutation Research, págs. 88-97.

30. *Procedimientos básicos de la prueba de micronúcleos y anormalidades nucleares en células exfoliadas de mucosa oral*. **Olivia Torres-Bugarín, O., y otros, y otros**. 1, 2013, Residente, Vol. 8, págs. 4-11.
31. *Nuclear buds in exfoliated human cells*. **Nersesyan, AK**. 1, 7 de Dic. de 2005, Mutat Res., Vol. 588, págs. 64-68.
32. **Rodríguez Martínez, N**. Nuestros Productos Comentarios sobre Los Aditivos. *pemex.com*. [En línea] 10 de febrero de 2015. <http://www.ref.pemex.com/octanaje/23adit.htm>.
33. **Rosas Jaramillo, JA y Rodríguez Martínez, N**. Nuestros productos gasolina. *pemex.com*. [En línea] 10 de febrero de 2015. <http://www.ref.pemex.com/octanaje/13gas.htm>.
34. **eia.gov**. Gasoline explained History of gasoline. *U.S. Energy Information Administration*. [En línea] 11 de febrero de 2015. http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=gasoline_history.
35. **Dabelstein, W, y otros, y otros**. Automovitive Fuels. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim : Wiley-VCH, 2007, págs. 425-458.
36. *BTEX biodegradation by bacteria from effluents of petroleum refinery*. **Mazzeo, DEC., y otros, y otros**. 20, 2010, Science of the Total Environment, Vol. 408, págs. 4334-4340.
37. *Cellular damages in the Allium cepa test system, caused by BTEX mixture prior and after biodegradation process*. **Mazzeo, DEC., Fernandes, TCC. y Marin-Morales, MA**. 2011, Chemosphere, págs. 13-18.
38. *Aplicación de SIG para deterctar zonas de vulnerabilidad y riesgo por la ubicación de estaciones de servicio en la zona urbana. Caso estudio Ensenada, Baja California*. **García-Zarate, MA., Arellano-García, ME., Eaton-González, R., Castañeda-Yslas, I., González-Zepeda, G**. 2013, Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, págs. 162-169.
39. **ATSDR**. *Interaction profile for benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX)*. Atlanta, GA: U.S. : Department of Health and Human Services, Public Health Service., 2004.
40. —. *Toxicological profile for Benzene*. Atlanta, GA: U.S. : Department of Health and Human Services, Public Health Service., 2007.
41. *Two benzene metabolites, cathecol and hydroquinone, produce a synergistic induction of micronuclei and toxicity in cultured human lymphocytes*. **Robertson, ML., Eastmond, DA. y y Smith, MT**. 1991, Mutat. Res., Vol. 249, págs. 201–209.
42. *Genotoxicity and oxidative stress in gasoline station attendants*. **Moro, AM., y otros, y otros**. 1, 2013, Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, Vol. 754, págs. 63-70.
43. **ATSDR**. *Toxicological profile for Toluene*. Atlanta, GA: U.S. : Department of Health and Human Services, Public Health Service., 2000.
44. —. *Toxicological profile for Ethylbenzene*. Atlanta, GA: U.S. : Department of Health and Human Services, Public Health Service., 2010.
45. —. *Toxicological profile for Xylenes*. Atlanta, GA: U.S. : Department of Health and Human Services, Public Health Service., 2007.

46. **Priestly, B., y otros, y otros.** Environmental health risk assessment: Guidelines for assessing human health risks from environmental hazards. *Australian Government Department of Health*. [En línea] 11 de Febrero de 2015. [http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/A12B57E41EC9F326CA257BF0001F9E7D/\\$File/DoHA-EHRA-120910.pdf](http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/A12B57E41EC9F326CA257BF0001F9E7D/$File/DoHA-EHRA-120910.pdf).
47. **Desastres, Estrategia Internacional para la Reducción de.** *UNISDR Terminología sobre Reducción del riesgo de Desastres*. Ginebra, Suiza, Suiza : s.n., Mayo de 2009.
48. *Meanings of environmental terms.* . **Johnson, D.L., y otros, y otros.** 1997, *Journal of Environmental Quality* , págs. 581-589.
49. *Genómica y salud Pública.* **Cervantes García, E., Meléndez Herrada, E. y Cravioto, A.** 4, México : s.n., 2005, *Rev Fac UNAM*, Vol. 48.
50. *A vision for the future of genomics research.* **Collins, FS., y otros, y otros.** 6934, 24 de Abr de 2003, *Nature.*, Vol. 422, págs. 835-847.
51. **Toxicología, Asociación Española de.** Asociación Española de Toxicología. *AETOX*. [En línea] 1 de 6 de 2015. [Citado el: 1 de 6 de 2015.] <http://www.aetox.es/glosario-toxicologico/glosater-f-g-h-i/>.
52. **Klaunig, JE.: y Kamendulis, LM.** Chemical carcinogenesis. [aut. libro] LJ. Casarett, y otros, y otros. *Casarett and Doull's toxicology: The basic science of poisons*. New York : McGraw-Hill, Health Professions Division., 2007.
53. *Implications of treatment-condition-induced genotoxicity for chemical screening and data interpretation.* **Brusick, DJ.** 1, 1987, *Mutation Research/Genetic Toxicology*, Vol. 189, págs. 1-6.
54. *Invitro testing for genotoxicity of 4-CPA by sister chromatid Exchange in human lymphocyte culture.* **Bağcı, H., y otros, y otros.** 35, 2005, *Turk. J. Med. Sci.*, págs. 75-78.
55. *Estimación de Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles en Estaciones de Servicio (gasolineras).* **García-Zárate, MA. y Rivera-Garibaldi, E.** 1, Bucaramanga : s.n., *Revista ION*, Vol. 19.
56. **Almirall Hernández, P.** *Neurotoxicología apuntes teóricos y aplicaciones prácticas*. Cuba : Ministerio de Salud Pública Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores, 2000.
57. *Generación de un mapa de viento en un SIG.* **González Ferreiro, D. y J., Bosque Sendra.** 2008, *Boletín de la A.G.E.*, Vol. 47, págs. 51-57.
58. *Infiltration and evaporation of small hydrocarbon spills at gas stations.* **Hilpert, M. y Breysse, PN.** Dic de 2014, *J Contam Hydrol.*, Vol. 170.
59. *Evoked Pot. and cerebral blood flow insolvent induced psycho-organic syndrome.* **Deschamps, D., y otros, y otros.** 4, Abr de 1993, *Br J Ind Med.*, Vol. 50, págs. 325-330.
60. *Cytogenetic biomonitoring in petrol station attendants: micronucleus test in exfoliated buccal cells.* **Çelik, A., Çavaş, T. y Ergene-Gözükara, S.** 5, Sep de 2003, *Mutagenesis.*, Vol. 18, págs. 417-421.

61. *Nuclear anomalies in exfoliated buccal epithelial cells of petrol station attendants in Tamilnadu, South India.* **Rajkokila, K., Shajithanoop, S. y Usharani, MV.** 2, 2010, J Med Genet Genomics., Vol. 2, págs. 18-22.
62. *Genotoxicity of benzene and its metabolites.* **Whysner, J., y otros, y otros.** 2, Mar de 2004, Mutat Res., Vol. 566, págs. 99-130.
63. *Topoisomerase II inhibition by the bioactivated benzene metabolite hydroquinone involves multiple mechanisms.* **Mondrala, S. y Eastmond, DA.** (1-2), 19 de Mar de 2010, Chem Biol Interact, Vol. 184, pág. 259.268.
64. *Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey.* **Solecki, WD, y otros, y otros.** 1, January de 2005, Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, Vol. 6, págs. 39-49.
65. **BOE.** *Real Decreto 2102/1996, de 20 de septiembre, sobre el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) resultantes de almacenamiento y distribución de gasolina desde las terminales a las estaciones de servicio.* Ministerio de Industria y Energía, Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. Madrid : Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 1996. págs. 32253-32258.
66. **Europeo, Parlamento.** *Directiva 2001/81/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos.* Ministerio de Agricultura, Alimentación y medio Ambiente, Parlamento Europeo. Madrid : s.n., 2001. pág. 1.
67. **EPA.** *Stage II Vapor Recovery systems. Issues Paper.* U. S. EPA Office of Air Quality Planning and Standards Emissions Monitoring and Analysis Division Emissions Factors and Policy Applications Group (D243-02), Environmental Protection Agency. s.l. : EPA, 2004. págs. 1-36.
68. **Europeo, Parlamento.** *Directiva 2009/126/CE del Parlamento europeo y del consejo de 21 de octubre de 2009 relativa a la recuperación de vapores de gasolina de la fase II durante el repostaje de los vehículos de motor en las estaciones de servicio.* Comité Económico y Social Europeo, Parlamento Europeo. Estrasburgo : s.n., 2009.
69. **Division of Air Quality.** *Emission Calculations and Cost/Benefit Analysis of the Regulation Revisions to Vapor Emission Control Requirements at Gas Stations in Delaware.* Delaware : Estate of Delaware, 2014.
70. *The role of folic acid and Vitamin B12 in genomic stability of human cells.* **Fenech, M.** 1-2, 18 de Abr. de 2001, Mutat Res., Vol. 475, págs. 57-67.
71. *Genetic Toxicology.* **Kramer, PJ.** Dic. de 1998, J. Pharm. Pharmacol, Vol. 50, págs. 395-405.



ANEXOS

ANEXO 1

FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Para participación en el estudio:

“Evaluación de zonas de riesgo genotóxico por exposición a BTEX en población residente cercana a estaciones de servicio en localidades urbanas de Tijuana B.C.”

El propósito de este estudio es evaluar los efectos ocasionados por residir cerca una estación de servicio y saber si tiene algunos problemas de salud usted o los que se encuentran dentro de una zona con altas concentraciones de vapores de gasolina.

Por lo anterior es necesario contar con las opiniones que tiene Usted así como otros miembros de la comunidad respecto a su situación de salud y aspectos del medio ambiente.

Su participación en este estudio es totalmente voluntaria. **No le va generar ningún costo, ni daño o riesgo a su persona.** Su participación incluye contestar algunos cuestionarios, y su disposición para proporcionarlos muestra saliva y una gotita de sangre para medir su glucosa al mismo tiempo, tomar datos como presión arterial, peso, estatura. Si usted decide no participar, su decisión no tendrá ninguna consecuencia.

Ahora que usted tiene esta información, ¿está dispuesto a participar? Recuerde que su participación es totalmente voluntaria.

He recibido una copia de esta forma de consentimiento:

Firma de recibido de una copia de esta forma de consentimiento:

Fecha _____

Colonia: _____



ANEXO 2



Universidad Autónoma de Baja California
Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas
Cuestionario de empleo, estilo de vida y alimentación

A. Datos Generales	
Fecha:	Encuestador:
Folio:	Laminilla
Nombre:	
Apellido paterno	Apellido materno Nombre(s)
1. Sexo. Hombre ☐ Mujer ☐	2. Fecha de nacimiento: MM/DD/AAAA: ____/____/____ Edad: ____ años
3. Estado civil:	
1. Soltero(a) 2. Casado(a) 3. Separado(a) 4. Divorciado(a) 5. Viudo(a) 6. Unión libre	
4. ¿Dónde Vive?	
Calle:	Código postal:
Número:	Delegación:
Colonia:	Localidad:
5. Tiempo de residencia:	
1. Menos de un año ☐ 2. 1 a 3 años ☐ 3. 3 a 5 años ☐ 4. 5 a 10 años ☐ 5. más de 10 años ☐	
6. Lugar de origen:	
7. ¿Pertenece a alguna etnia?	
1. Sí ☐ 2. No ☐ ¿A cuál? _____	
8. ¿Qué estudios tiene?	
1. No sabe leer ni escribir ☐	
2. Primaria	completa ☐ incompleta ☐
3. Secundaria	completa ☐ incompleta ☐
4. Preparatoria (media superior)	completa ☐ incompleta ☐
5. Carrera técnica	completa ☐ incompleta ☐
6. Licenciatura (superior)	completa ☐ incompleta ☐
7. Otro, ¿Cuál? _____	completa ☐ incompleta ☐
B. Datos Laborales	
9. ¿Dónde trabaja?	
10. Actividad (es) que desarrolla:	
11. ¿Tiene otro trabajo?	
1. Sí ☐ 2. No ☐ (si contesta que NO, pasar a la pregunta 13)	

12. Actividad (es) que desarrolla:
13. Trabajos anteriores y su duración en cada uno, elaborar un cuadro para la respuesta al reverso
14. Tiempo de trabajar en la empresa actual: 1. Menos de un año ☐ 2. De 1 a 3 años ☐ 3. De 3 a 5 años ☐ 4. De 5 a 10 años ☐ 5. más de 10 años ☐
15. ¿Cuántas horas trabaja? Lo mínimo _____ lo máximo _____ 16. ¿Cuántos días por semana trabaja? _____ 17. ¿Descansa algún (varios) día (s) a la semana? Sí ☐ No ☐ ¿Cuántos? _____ ¿Cuáles? _____ 18. ¿Recibe vacaciones? Sí ☐ No ☐ ¿Cuántos días? _____ 19. ¿Cubre turnos nocturnos? Sí ☐ No ☐ ¿Cada cuánto tiempo? _____ ¿De cuantas horas es el turno? _____ 20. ¿Le dan tiempo para comer? Sí ☐ No ☐ ¿Cuánto tiempo? _____
21. En caso de trabajar en campo agrícola: ¿Sabe cómo se llama el rancho? O en caso de haber laborado anteriormente en un campo agrícola: ¿Qué actividades desarrollaba? Elaborar un cuadro para la respuesta al final del cuestionario
C. Distancia entre las unidades habitacionales y gasolineras
22. Distancia de la gasolinera a la vivienda _____
23. Vivienda: Edificio Sí ☐ No ☐ , en caso de contestar SI, ¿En qué piso vive? _____ Casa separada Sí ☐ No ☐ plantas de la vivienda _____
24. ¿Ha vivido cerca de otra zona con alguna gasolinera cerca antes? Sí ☐ ¿Cuánto tiempo? _____ No ☐
D. Condiciones de salud
25. ¿Cuánto mide? _____ cm 26. ¿Cuánto pesa? _____ Kg 27. Presión arterial _____/_____ 28. Glucosa _____
29. ¿Tiene hijos? Sí ☐ No ☐ 30. ¿Cuántos? _____ 31. ¿Cuántos embarazos tuvo (usted o) su pareja? _____ 32. ¿Sabe si sufrió algún aborto? Sí ☐ No ☐ 33. ¿Sabe la causa del aborto? Sí ☐ No ☐ Especifique _____ 34. ¿Algunos de los partos murió al nacer? Sí ☐ ¿sabe por qué? _____ No ☐ 35. ¿Algunos de los partos nació muerto? Sí ☐ ¿sabe por qué? _____ No ☐ 36. ¿Sabe si sus hijos tienen alguna enfermedad? Sí ☐ No ☐ Especifique _____
E. Condiciones de salud de la mujer
37. ¿Cuándo fue su última menstruación? _____ 38. ¿Cuántos días dura su periodo? _____ 39. ¿Es regular? Sí ☐ No ☐ ¿Cuánto dura el periodo? _____ 40. Durante su periodo ¿tiene cambios de ánimo? Sí ☐ No ☐

41. ¿se ha realizado examen de Papanicolaou? Sí ☐ No ☐ ¿Cuándo fue el último? _____			
42. ¿se ha realizado examen de mamografía? Sí ☐ No ☐ ¿Cuándo fue el último? _____			
43. ¿Consume anticonceptivos? Sí ☐ No ☐			
44. ¿Se cuida para tener hijos? Sí ☐ No ☐			
45. ¿Cómo? _____			
46. ¿En donde labora su pareja? _____			
F. Condición médica			
47. ¿Sufre alguna enfermedad? Sí ☐ No ☐ Si su respuesta es no pase a la pregunta 50			
48. ¿Cuándo fue diagnosticada? _____			
49. Mencione cual (es)	01. Alergias ☐ 02. Asma ☐ 03. Diabetes ☐ 04. Enfermedad de riñón ☐ 05. Hipertensión ☐ 06. VIH/SIDA ☐ 07. Colesterol o triglicéridos ☐ 08. Del corazón ☐ 09. Caries dentales ☐ 10. Hígado ☐ 11. Cáncer ☐	12. Artritis ☐ 13. Gastritis ☐ 14. Dolor de huesos ☐ 15. Temblores ☐ 16. Uñas quebradizas ☐ 17. Se le cae el pelo ☐ 18. Piel manchada ☐ 19. Piel reseca ☐ 20. Granos en la piel ☐ 21. Músculos entumecidos o trémulos ☐	22. Anemia, falta de hierro ☐ 23. Tumores ☐ 24. Intolerancia al trigo ☐ 25. Otra ☐ Especificar _____
50. ¿Ha consumido algún medicamento en los últimos 3 meses? Sí ☐ No ☐			
51. Nombre de la medicación _____			
52. Para qué enfermedad _____			
53. ¿Consume multivitamínicos? Sí ☐ No ☐			
54. ¿Qué vitaminas son? _____			
55. ¿De qué marca? _____			
56. ¿Ha subido o bajado mucho de peso en los últimos 6 meses? Sí ☐ No ☐			
57. ¿Cuándo fue la última vez que fue al dentista? _____			
58. ¿Cuál fue el motivo? _____			
59. ¿Utilizaron anestesia? Sí ☐ No ☐			
F. Estilo de vida y alimentación			
60. ¿Fuma? Sí ☐ No ☐			
61. Tiempo de fumar _____			
62. ¿Con que frecuencia?	01. Muy pocas veces (1 cigarrillo al mes) 02. Ocasionalmente (1-3 cigarrillos semanales) 03. Moderadamente (2-4 cigarrillos diarios) 04. Mucho (más de 10 cigarrillos diarios)		
63. ¿Toma bebidas con alcohol? Sí ☐ No ☐			
64. ¿Qué le gusta tomar? _____			
65. ¿Cuánto toma? _____			
66. ¿Con que frecuencia consume alcohol? _____			
67. ¿Toma otra cosa? Sí ☐ No ☐ Especifique _____			
68. ¿Toma drogas? Sí ☐ No ☐ Especifique _____			
69. ¿Con que frecuencia consume verduras?	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7		
70. ¿Con que frecuencia consume legumbres?	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7		

Anexos

71. ¿Con que frecuencia consume frutas?	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
72. ¿Con que frecuencia consume productos lácteos?	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
73. ¿Qué tipo de leche consume?	01. Entera 02. Semidescremada 03. Descremada
74. ¿Con que frecuencia consume embutidos?	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
75. ¿Con que frecuencia consume carne de res?	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
76. ¿Con que frecuencia consume carne de pollo?	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
77. ¿Con que frecuencia consume carne de puerco	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
78. ¿Con que frecuencia consume pescado?	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
79. ¿Con que frecuencia consume mariscos?	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
80. ¿Con que frecuencia consume productos enlatados?	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
81. ¿Con que frecuencia consume cereales?	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
82. variedad	Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
83. ¿Que acostumbra tomar con la comida?	01. Agua natural 02. Agua fresca azucarada 03. Agua de frutas 04. Agua fresca de polvo ¿Cuál? _____ 05. Soda ¿Cuál? _____
84. ¿Acostumbra tomar café?	Sí ____ No ____ Veces por semana: 1 2 3 4 5 6 7
85. ¿Cuántas tazas al día?	1 2 3 4 5 más de 5



ANEXO 3



Universidad Autónoma de Baja California
Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

El presente cuestionario tiene el propósito de registrar sus malestares y dolencias. Señal con una cruz en la columna que correspondan con qué frecuencia ha sentido estos malestares y dolencias últimamente. Si en alguna frase aparece más de un malestar márkela aunque haya sido uno solo de ellos.

Preguntas	Nunca	Algunas veces	Con frecuencia	Con mucha frecuencia
01. Mareos, vómitos				
02. Dolores de cabeza				
03. No tener ánimos para nada				
04. Gases estreñimiento diarrea				
05. No poder controlarse cuando está enojado o siente rabia				
06. Mareos, vértigos				
07. Distraerse fácilmente				
08. Pérdida de la fuerza muscular en algunas partes del cuerpo				
09. No tener ánimos para trabajar				
10. Tener dificultades para recordar cosas sencillas				
11. Perturbaciones del equilibrio				
12. Aumento de la necesidad de dormir				
13. Sentirse fastidiado de todo				
14. Ahogos, falta de aire				
15. Perder la paciencia y ponerse furioso				
16. Cansarse fácilmente				
17. Tener dificultades para recordar los nombres y las personas				
18. Sentir inseguridad al caminar o al hacer otros movimientos				
19. No tener interés por nada				
20. Falta de memoria				

Preguntas	Nunca	Algunas veces	Con frecuencia	Con mucha frecuencia
21. Sentir hormigueo o entorpecimiento en las manos, brazos y piernas				
22. Sudar con facilidad				
23. Lentitud en los movimientos y en las reacciones del cuerpo				
24. Sentir llenura, sentir un peso en el estómago				
25. Sentirse irritado por pequeños				
26. Sentir molestia en el pecho				
27. Estar distraído				
28. Dificultades en las relaciones íntimas				
29. No tener energías				
30. Tener sensaciones de frío o calor...				
31. Dolores en las articulaciones, pesadez en las extremidades				
32. Dificultades para conciliar el sueño o despertarse varias veces en la noche				
33. No querer saber de nadie				
34. Sentir debilidad, cansancio, agotamiento				
35. Disgustarse demasiado rápido con las personas				
36. Sentir sequedad en la boca o salivar mucho				
37. Tener dificultades para concentrarse				
38. Sentir temblores en los brazos, las piernas o en todo el cuerpo				

Almirall Hernández, Pedro. Neurotoxicología Apuntes Teóricos y Aplicaciones Prácticas. Ministerio de Salud Pública Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores La Habana. Cuba 2000.



ANEXO 4

PREPARACIÓN DE FIJADOR, COLORANTES Y SOLUCIÓN DE LIMPIEZA

Fijador etanol al 80%

Etanol absoluto 80 ml

Agua destilada 20 ml

Mezclar 80 ml de etanol absoluto con 20 ml de agua destilada, conservar a temperatura ambiente y evitar exposición directa al sol.

Preparación

Disolver el fosfato de sodio monobásico y fosfato de sodio dibásico en medio litro de agua en agitación, una vez disuelto aforar a un litro, tapar, seguir en agitación hasta total homogenización (aproximadamente 10 minutos más) refrigerar a 4 °C por un máximo de dos semanas. Al momento de su uso verificar si no hay contaminación por microorganismos. Reservar 10 a 20 ml de solución buffer limpia para el montaje de las laminillas.

Orceína

Orceína 1 g

Ácido acético glacial 30 ml

Agua destilada 20 ml

Calentar el ácido acético a punto de ebullición, agregar orceína dejar enfriar, posteriormente agregar 20 ml de agua destilada y filtrar ya que se forman cristales, mantener en refrigeración y desechar transcurrido 1 año.

Verde rápido

Verde rápido 0.2 g

Agua destilada 100 ml

Ácido acético glacial 0.2 ml

Disolver el colorante en 100 ml de agua destilada, añadir 0.2 ml de ácido acético, mantener en refrigeración.

Alcohol-Acetona

Etanol absoluto 30 ml

Acetona 10 ml

Mezclar la acetona en el alcohol, agitar suavemente, puede ser puesta en frasco transparente de vidrio o polipropileno.

ANEXO 5

CARACTERÍSTICAS DE LOS INDICADORES

Estado de salud. Este indicador resume la presencia de alguno o diversos padecimientos de las personas, los cuales para este estudio se agruparon bajo enfermedades crónicas degenerativas, respiratorias y cardiovasculares.

Indicador	Categoría	Descripción
	Bueno	El sujeto no padece enfermedades crónico degenerativas, respiratorias y cardiovasculares
Estado de salud	Regular	El sujeto padece alguna enfermedad crónico degenerativa o respiratoria y/o cardiovascular
	Deficiente	El sujeto padece dos o más enfermedades, ya sea crónico degenerativas, respiratorias y cardiovasculares

Estilo de vida. Este indicador resume los hábitos de los sujetos, ejemplo el consumo de vitaminas, alcohol y de tabaco.

Indicador	Categoría	Descripción
	Bueno	Consume vitaminas o no consume vitaminas ni alcohol y tabaco
Estilo de vida	Regular	Consume vitaminas y alcohol pero no tabaco Consume vitaminas tabaco o alcohol moderadamente No consume vitaminas y su consumo de alcohol o

		tabaco es moderado
	Deficiente	Consume vitaminas, pero su consumo de alcohol y/o tabaco es alto o no consume vitaminas pero si consume alcohol y tabaco

Alimentación. Este indicador resume la frecuencia de la dieta durante la semana de los sujetos que consta de vegetales y derivados, proteínas, enlatados y bebidas.

Indicador	Categoría	Descripción
	Bueno	Vegetales y derivados: de 3 a 7 veces por semana y para cereales solo el consumo de 5 veces por semana. Proteínas: Lácteos, pollo y pescado de 3 a 7 veces por semana, carne de cerdo o res 1 a 3 veces por semana y embutidos 2 o 3 veces por semana. Mariscos: 1 a 2 veces por semana. Enlatados: 1 a 2 a la semana. Bebidas: Agua natural y/o agua de frutas 7 veces a la semana.
Dieta	Regular	Vegetales y derivados: de 2 a 3 veces por semana y 7 veces cereales a la semana Proteínas: lácteos, pollo y pescado de 2 a 3 veces por semana, carne de cerdo y/o res de 3 a 4 veces por semana y embutidos 3 a 4 veces por semana. Mariscos 1 a 2 veces por semana. Enlatados: 3 a 4 veces por semana. Bebidas: Agua natural y/o frutas 2 a 5 veces por semana o agua saborizada de polvo 1 a 2 veces por

		semana o 1 soda a la semana
	Deficiente	Vegetales y derivados: 1 a 2 veces por semana o no consumo de ningún vegetal, cereales 7 veces por semana. Proteínas: Lácteos, pollo y pescado 1 o 2 veces por semana, cerdo 3 a 4 veces y/o res 5 veces a la semana, embutidos 7 veces por semana. Mariscos 1 a 2 veces por semana. Enlatados: 7 veces por semana. Bebidas: agua natural y/o frutas 1 a 2 veces por semana, agua saborizada en polvo de 3 a 5 veces por semana o soda 7 veces a la semana.

Índice de Masa Corporal (IMC). Este indicador tiene la finalidad de determinar su estado nutricional antropométrico según la OMS (1983) y con el uso de los siguientes puntos de corte propios para este trabajo. Encuesta Nacional de Indicadores Nutricionales, Bioquímicos, Socioeconómicos y Culturales Relacionados con las Enfermedades Crónico Degenerativas

Indicador	Categoría	Descripción
	Infra peso: Delgadez aceptable	17.00 a 18.49
Índice de masa corporal	Peso Normal	18.50 a 24.99
	Sobrepeso	25.00 a 29.99 o más

Nivel de exposición. Este indicador resume la unión de las variables tiempo de exposición y la distancia de la estación de servicio con la residencia del sujeto de estudio.

Indicador	categoría	Descripción
	baja	Tiempo de residencia de 1 a tres años y vivir a una distancia mayor a 400 metros
Nivel de exposición	media	Tiempo de residencia de 3 a 5 años y vivir a una distancia de 200 a 400 metros.
	alta	Tiempo de residencia de 5 a 10 o mayor a 10 años y a una distancia menor a 200 metros.

ANEXO 6

INTERPRETACIÓN Y VALORACIÓN DEL CUESTIONARIO P.N.F.

Síntomas	Ítems
Inestabilidad psiconeurovegetativa [PsN]	2, 4, 6, 12, 14, 16, 22, 24, 26, 30, 32, 34, 36
Síntomas neurológicos [N]	1, 8, 11, 18, 21, 28, 31, 38
Astenia [A]	3, 9, 13, 19, 23, 29, 33
Irritabilidad [E]	5, 15, 25, 35
Concentración y memoria [DK]	7, 10, 17, 20, 27, 37

La respuesta “nunca” recibe la puntuación de 0, “algunas veces” 1, “con frecuencia” 2 y “con mucha frecuencia” 3. Para la calificación se procede mediante la suma de los puntos obtenidos en los ítems de cada escala tomada por separado.

Claves de calificación

Masculino

Inestabilidad psiconeurovegetativa [PsN]			
Edad	Discreto (1)	Moderado (2)	Sobresaliente (3)
-20	0-11	12-17	18 y más
21-30	0-11	12-17	18 y más
31-40	0-12	13-18	19 y más
41-50	0-13	14-18	19 y más
50 y mas	0-14	15-18	19 y más

Síntomas neurológicos [N]			
Edad	Discreto (1)	Moderado (2)	Sobresaliente (3)
-20	0-4	5	6 y más
21-30	0-4	5-6	7 y más
31-40	0-4	5-8	9 y más
41-50	0-5	6-9	10 y más
50 y mas	0-6	7-10	11 y más

Astenia [A]			
Edad	Discreto (1)	Moderado (2)	Sobresaliente (3)
-20	0-4	5-7	8 y más
21-30	0-4	5-7	8 y más
31-40	0-4	5-7	8 y más
41-50	0-4	5-7	8 y más
50 y mas	0-4	5-7	8 y más

irritabilidad [E]			
Edad	Discreto (1)	Moderado (2)	Sobresaliente (3)
-20	0-3	4-5	6 o más
21-30	0-4	5-6	7 y más
31-40	0-4	5-6	7 y más
41-50	0-4	5-6	7 y más
50 y mas	0-5	6-7	8 y más

concentración y memoria [DK]			
Edad	Discreto (1)	Moderado (2)	Sobresaliente (3)
-20	0-4	5-7	8 y más
21-30	0-4	5-7	8 y más
31-40	0-4	5-7	8 y más
41-50	0-4	5-7	8 y más
50 y mas	0-4	5-7	8 y más

Femenino

inestabilidad psiconeurovegetativa [PsN]			
Edad	Discreto (1)	Moderado (2)	Sobresaliente (3)
-20	0-16	17-19	20 y más
21-30	0-16	17-20	21 y más
31-40	0-17	18-22	23 y más
41-50	0-18	19-23	24 y más
50 y mas	0-19	20-24	25 y más

síntomas neurológicos [N]			
Edad	Discreto (1)	Moderado (2)	Sobresaliente (3)
-20	0-5	6	7 y más
21-30	0-6	7-8	9 y más
31-40	0-7	8-10	11 y más
41-50	0-8	9-12	13 y más
50 y mas	0-9	10-14	15 y más

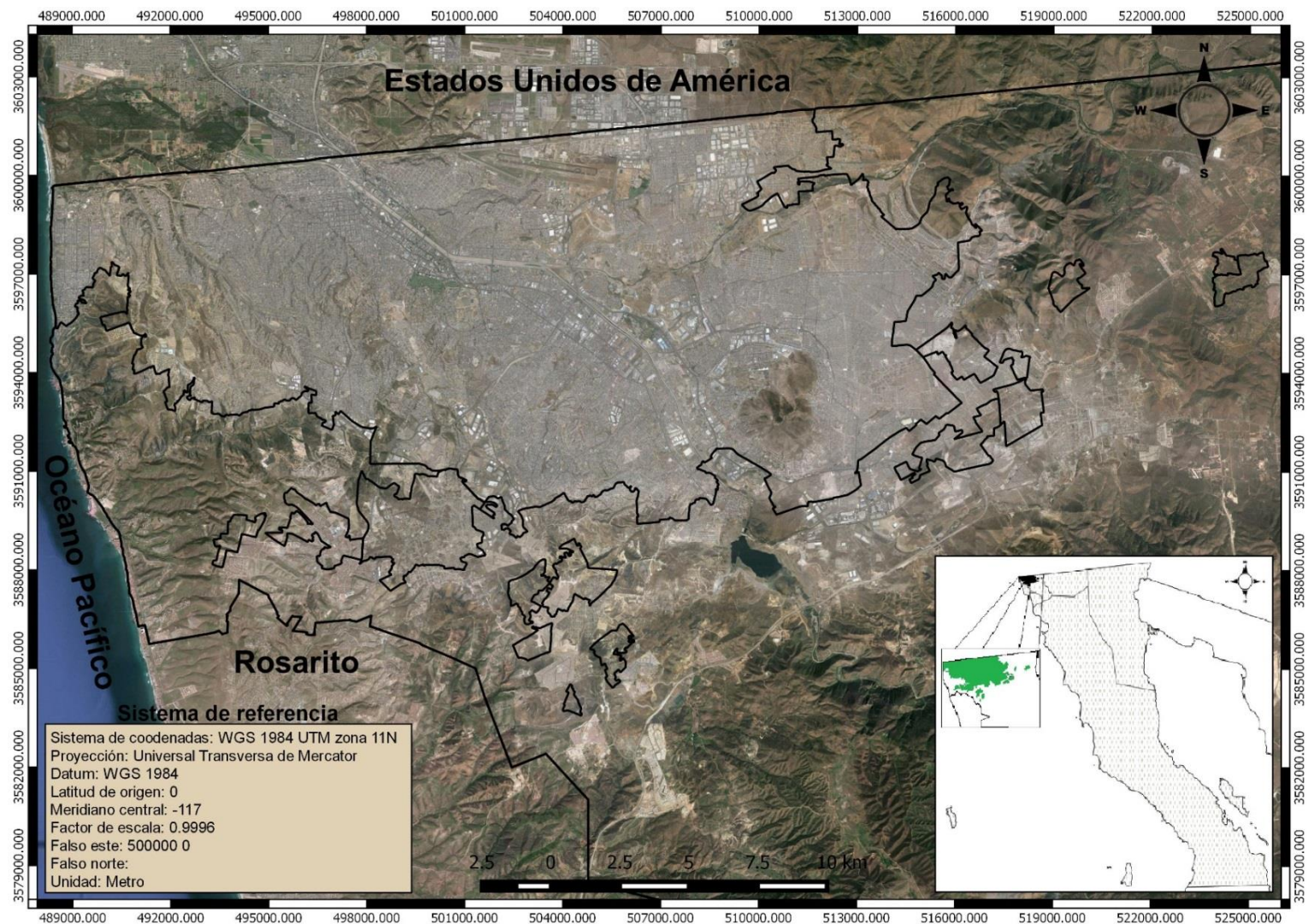
astenia [A]			
Edad	Discreto (1)	Moderado (2)	Sobresaliente (3)
-20	0-6	7-9	10 y más
21-30	0-6	7-9	10 y más
31-40	0-6	7-9	10 y más
41-50	0-6	7-9	10 y más
50 y mas	0-6	7-9	10 y más

irritabilidad [E]			
Edad	Discreto (1)	Moderado (2)	Sobresaliente (3)
-20	0-7	8-10	11 y más
21-30	0-6	7 a 9	10 y más
31-40	0-5	6-8	9 y más
41-50	0-5	6-7	8 y más
50 y mas	0-4	5-6	7 y más

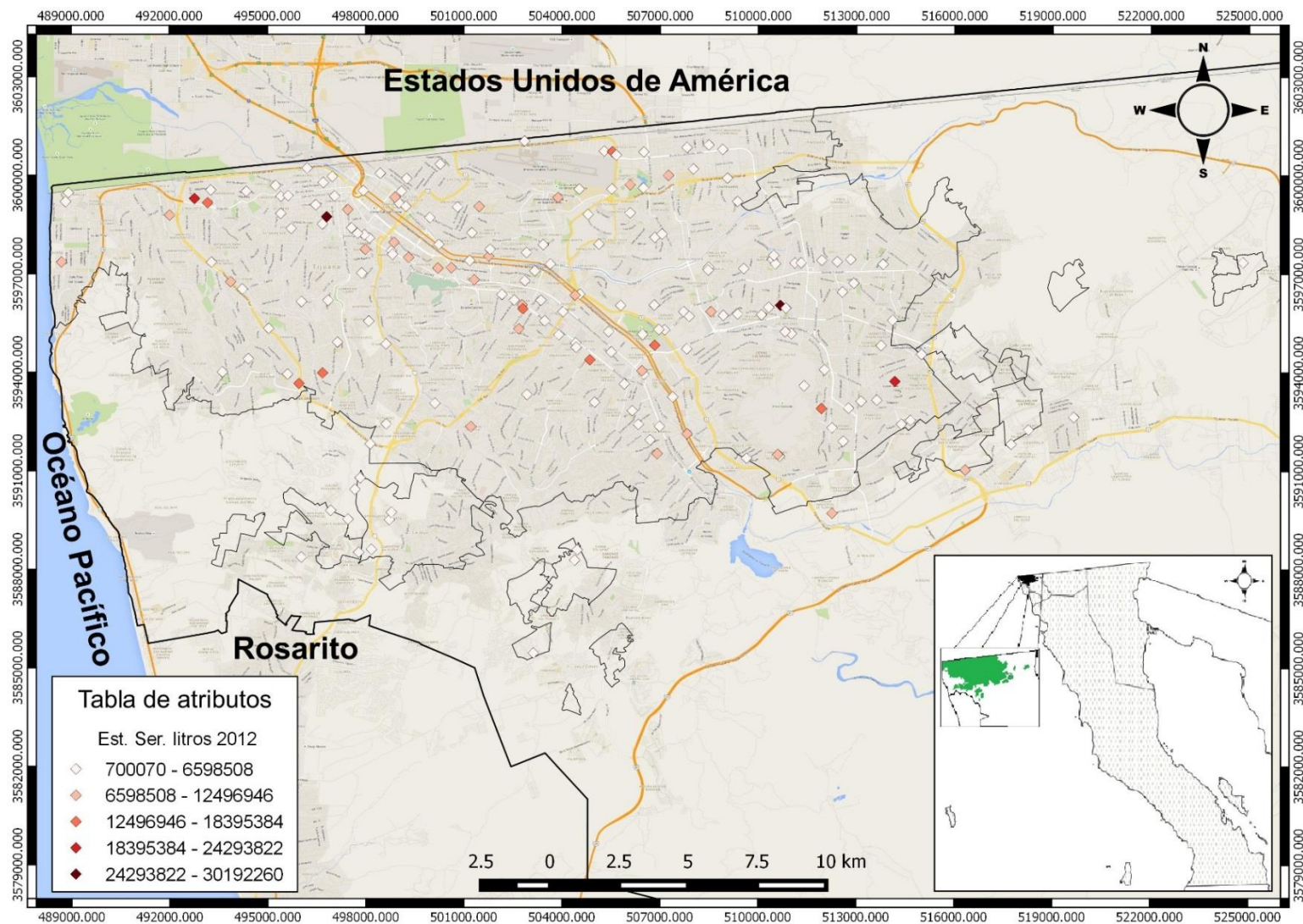
concentración y memoria [DK]			
Edad	Discreto (1)	Moderado (2)	Sobresaliente (3)
-20	0-5	6-7	8 y más
21-30	0-5	6-8	9 y más
31-40	0-5	6-8	9 y más
41-50	0-5	6-8	9 y más
50 y mas	0-5	6-9	10 y más

Anexo 7

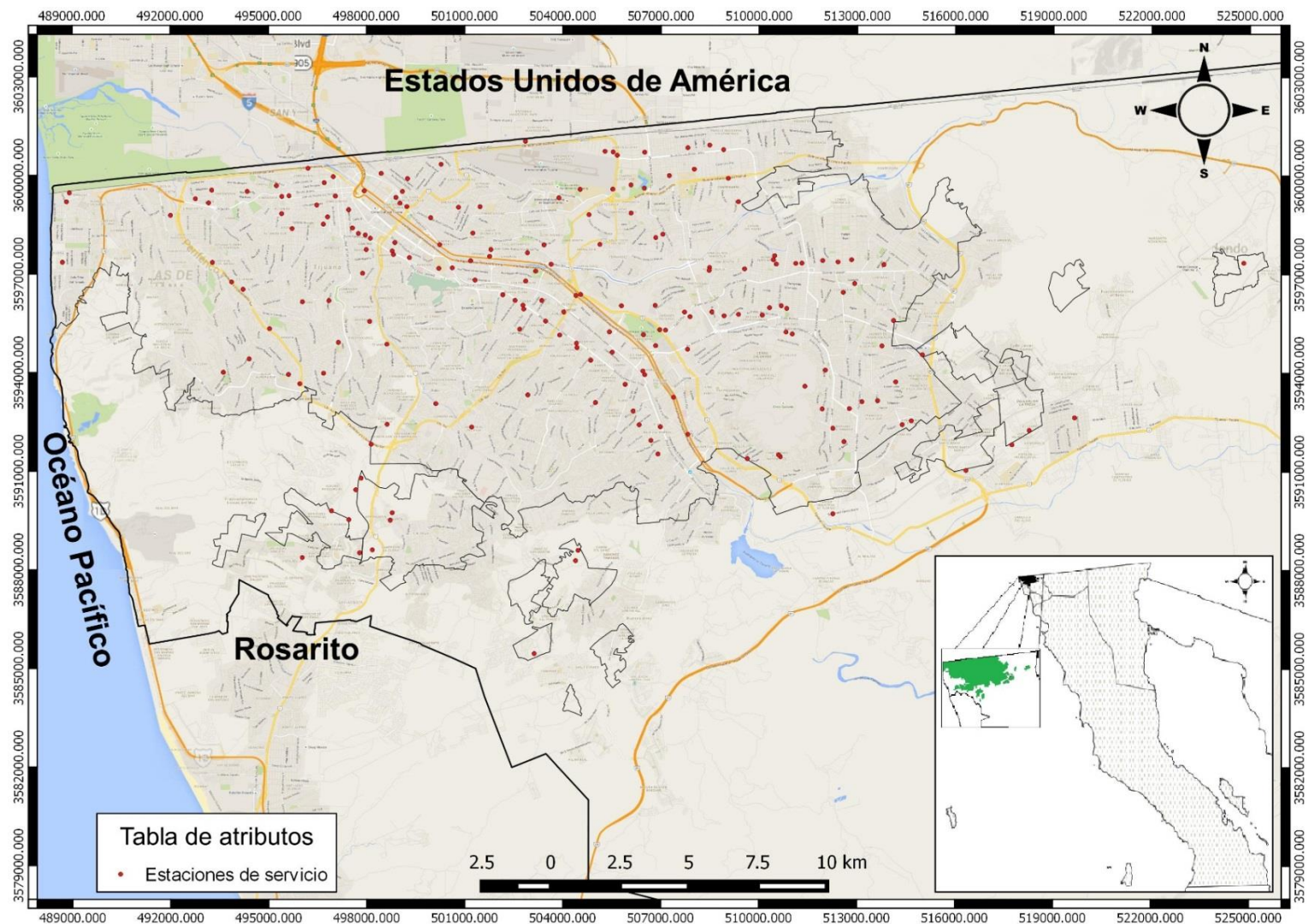
MAPAS



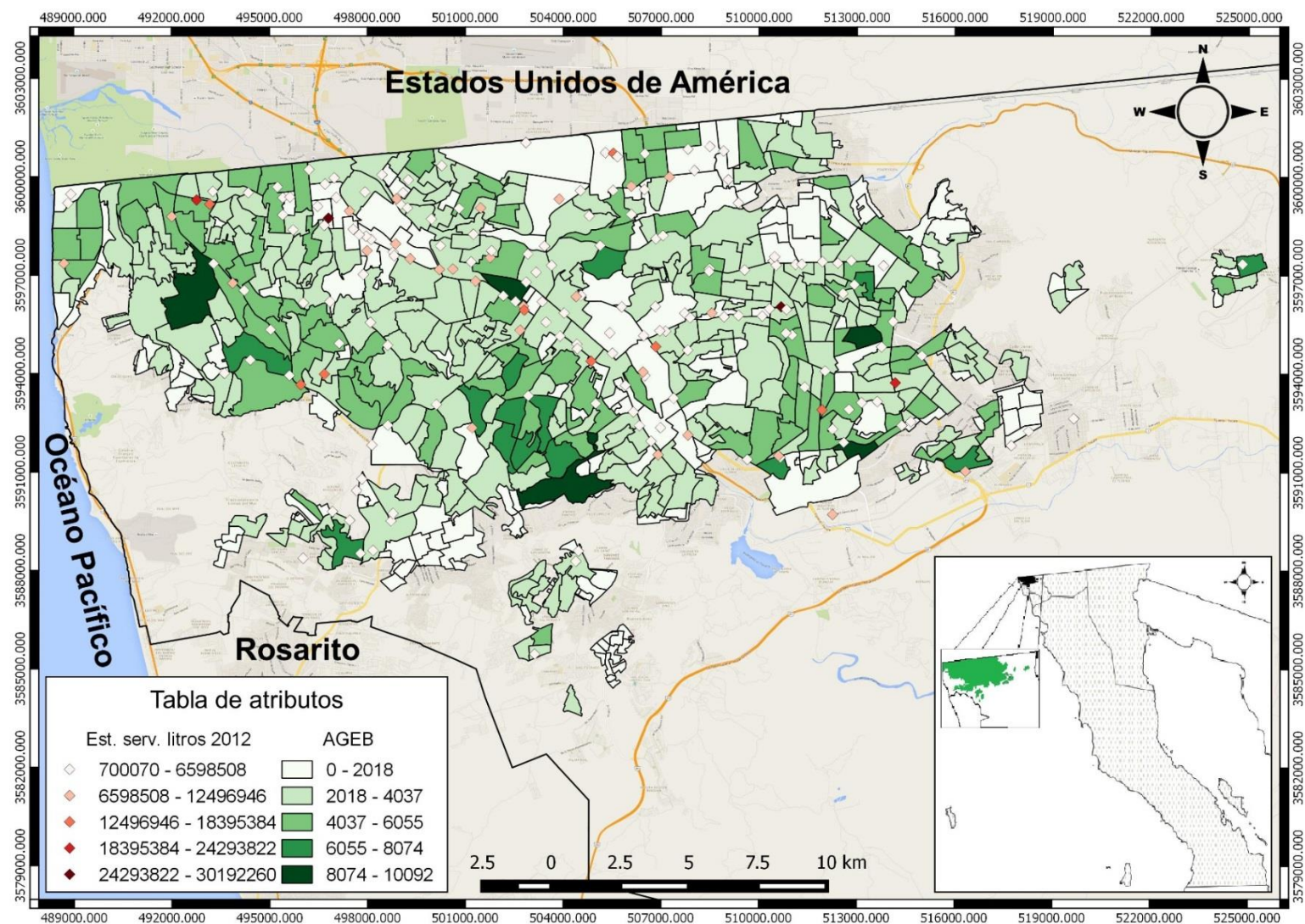
Sitio de estudio, Tijuana, Baja California.



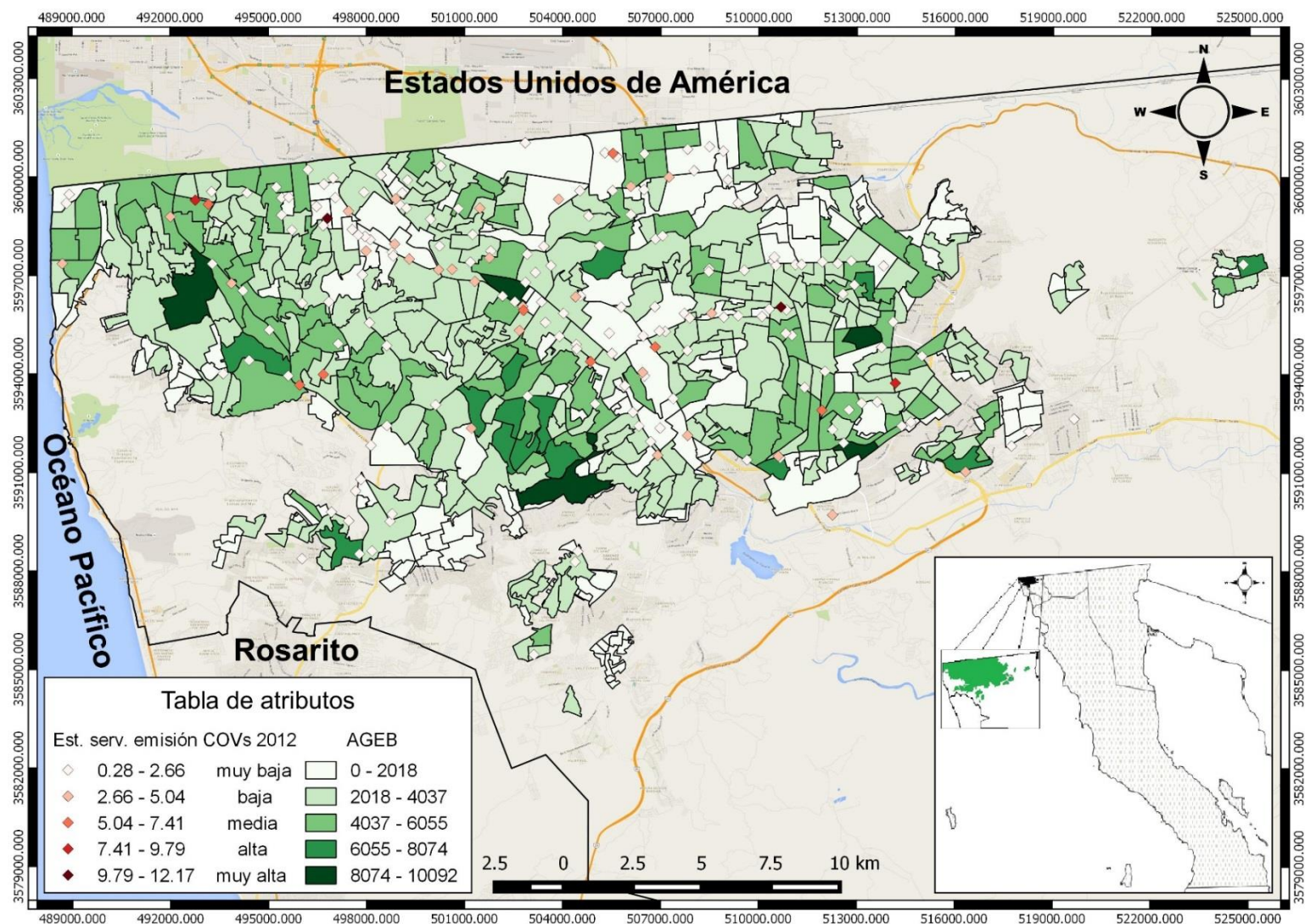
Estaciones de servicio con ventas en litros del 2012 categorizadas de menor a mayor dentro del área urbana de Tijuana.



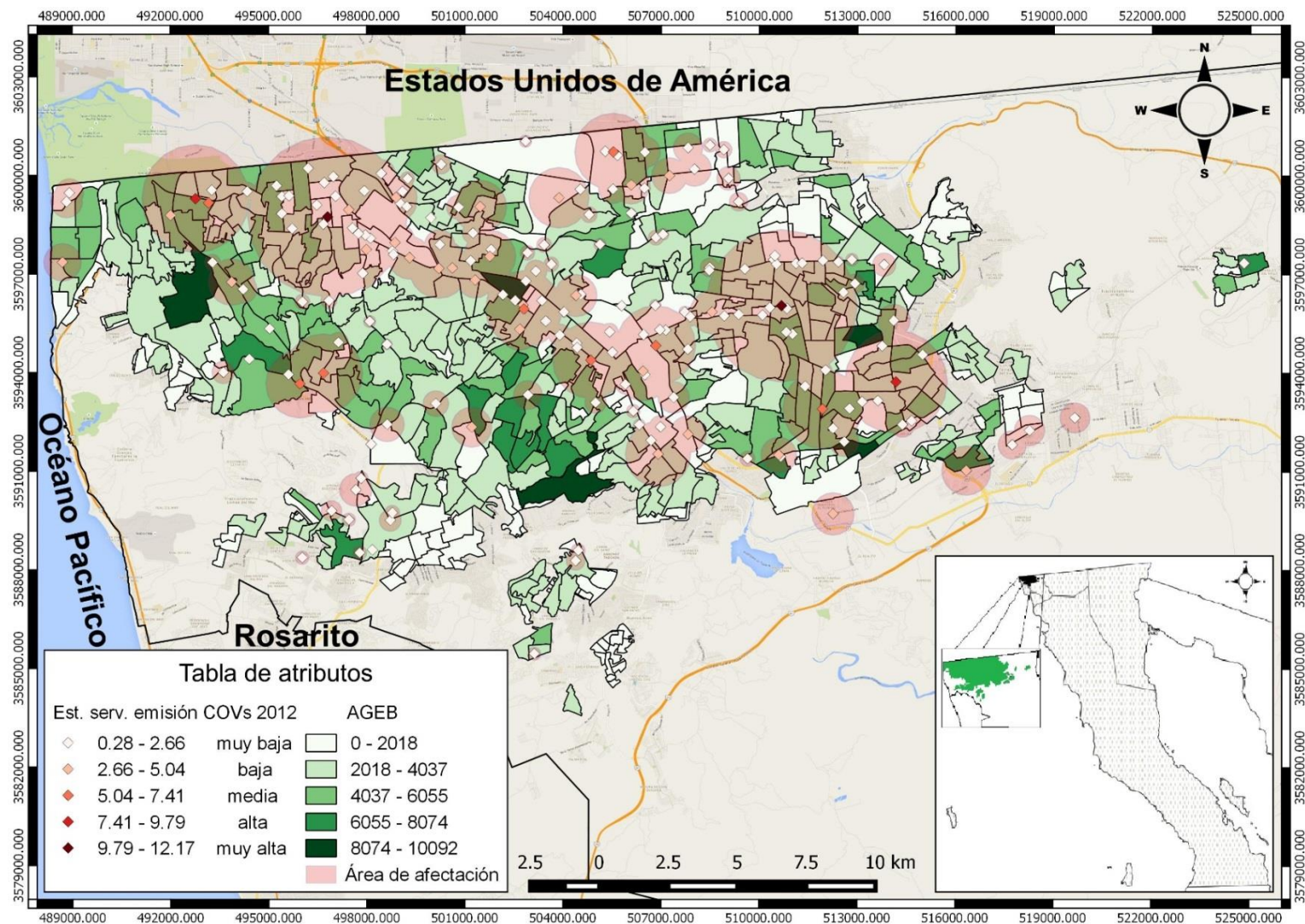
Estaciones de servicio distribuidas en el área urbana de Tijuana.



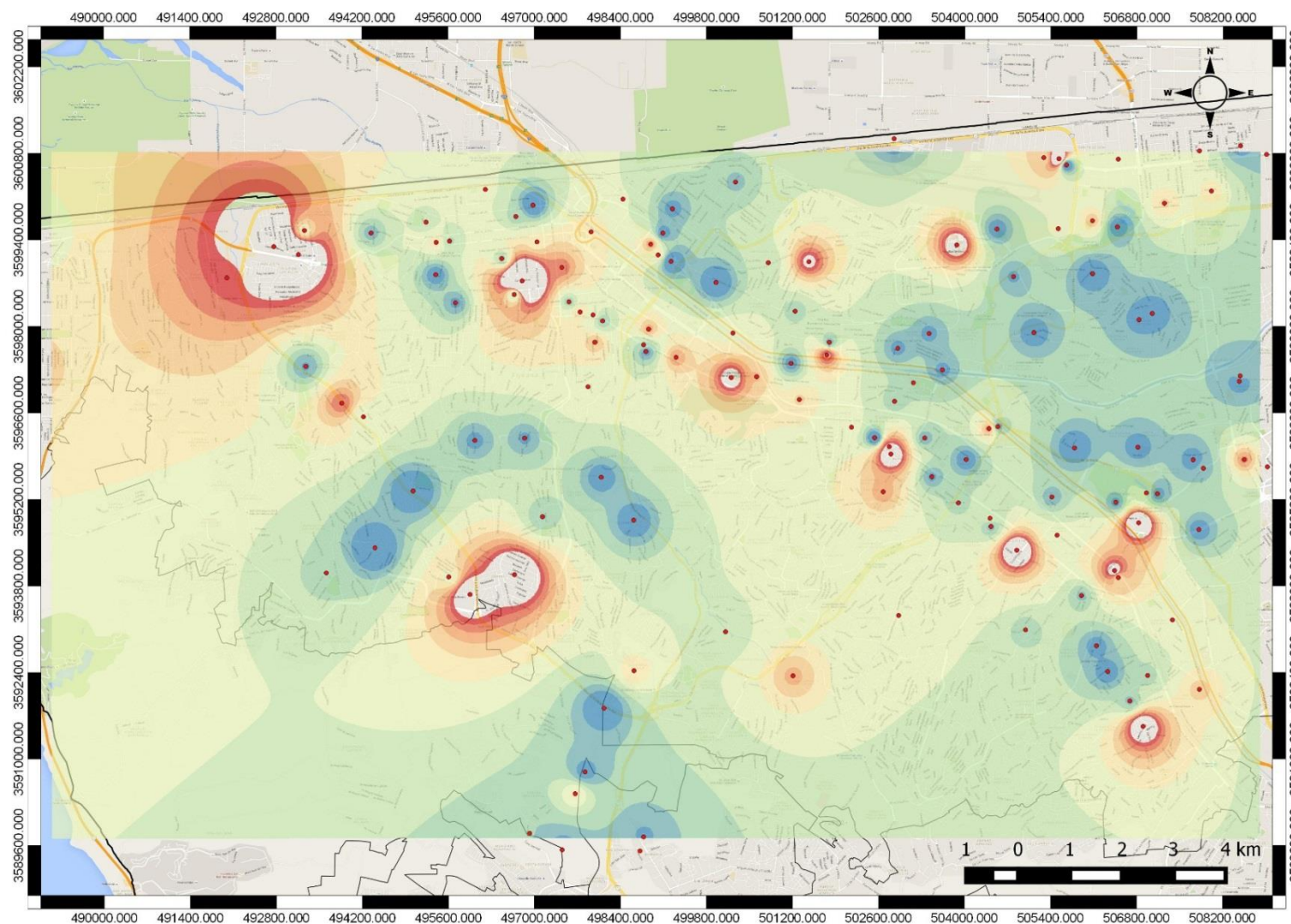
Estaciones de servicio distribuidas dentro del área urbana de Tijuana Baja California categorizadas por su venta en litros durante 2012, AGEB.



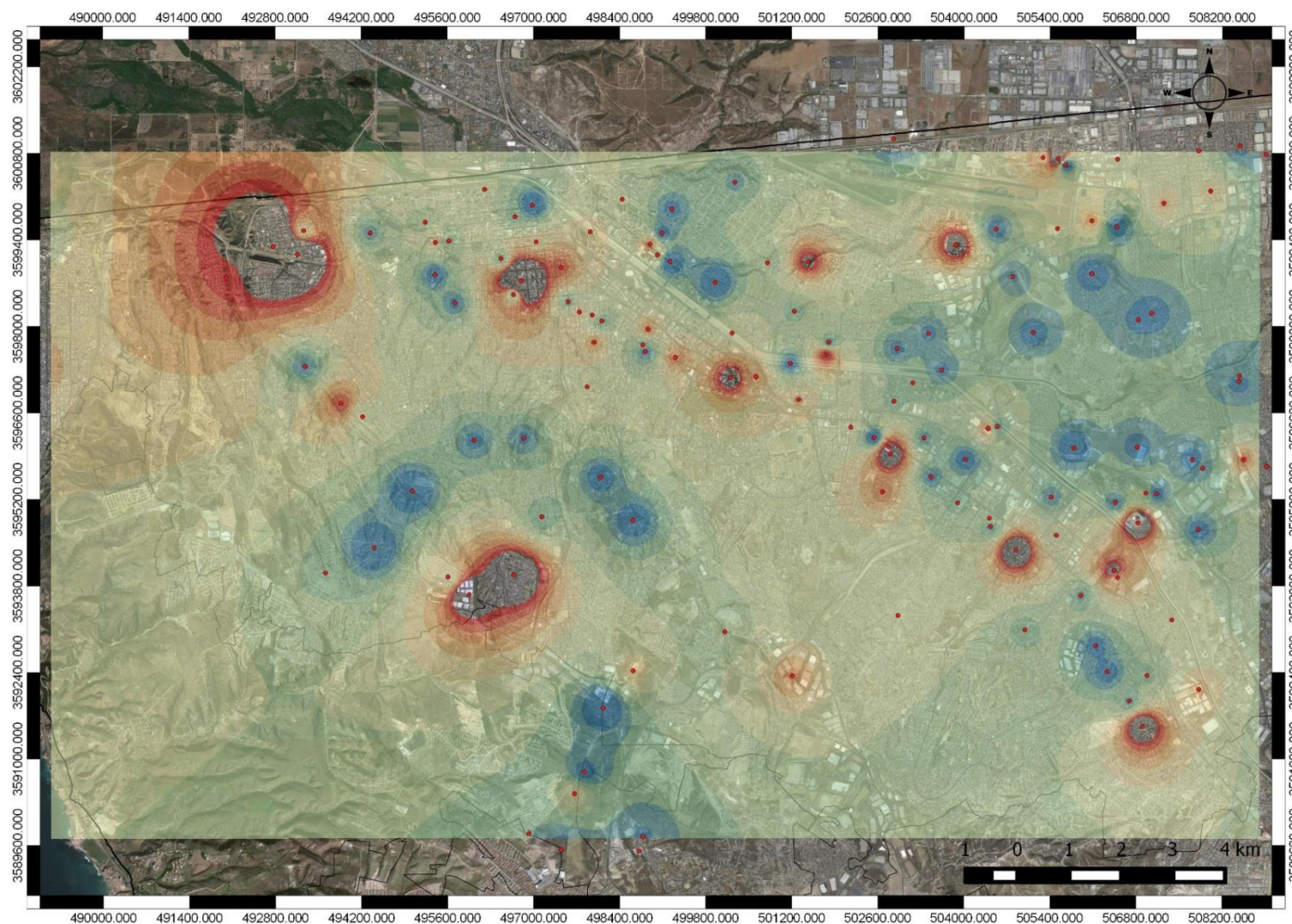
Estaciones de servicio categorizadas bajo su nivel de emisión de COVs durante 2012 y AGEB.



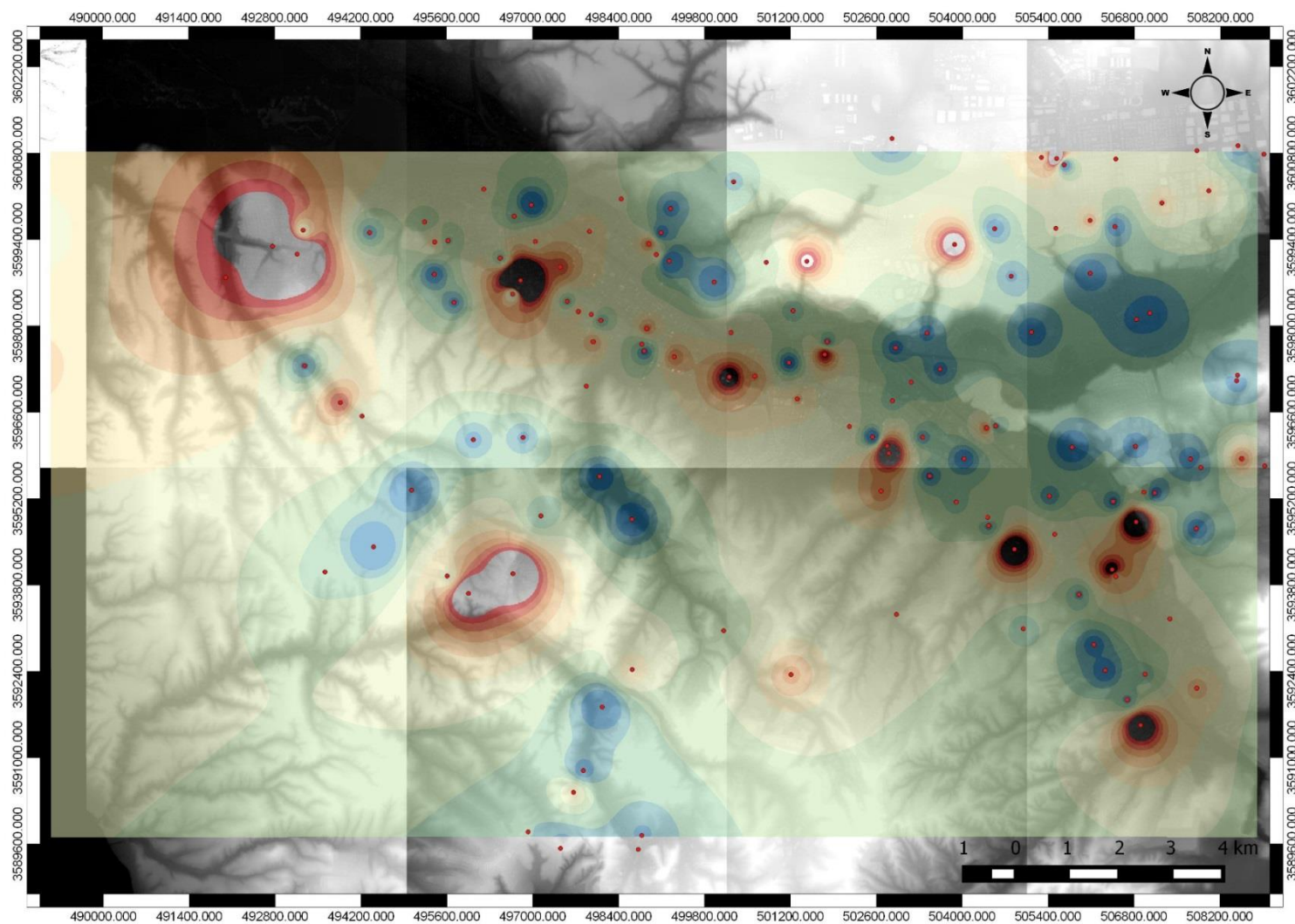
Áreas de afectación teóricas generadas a partir del IDLH de benceno.



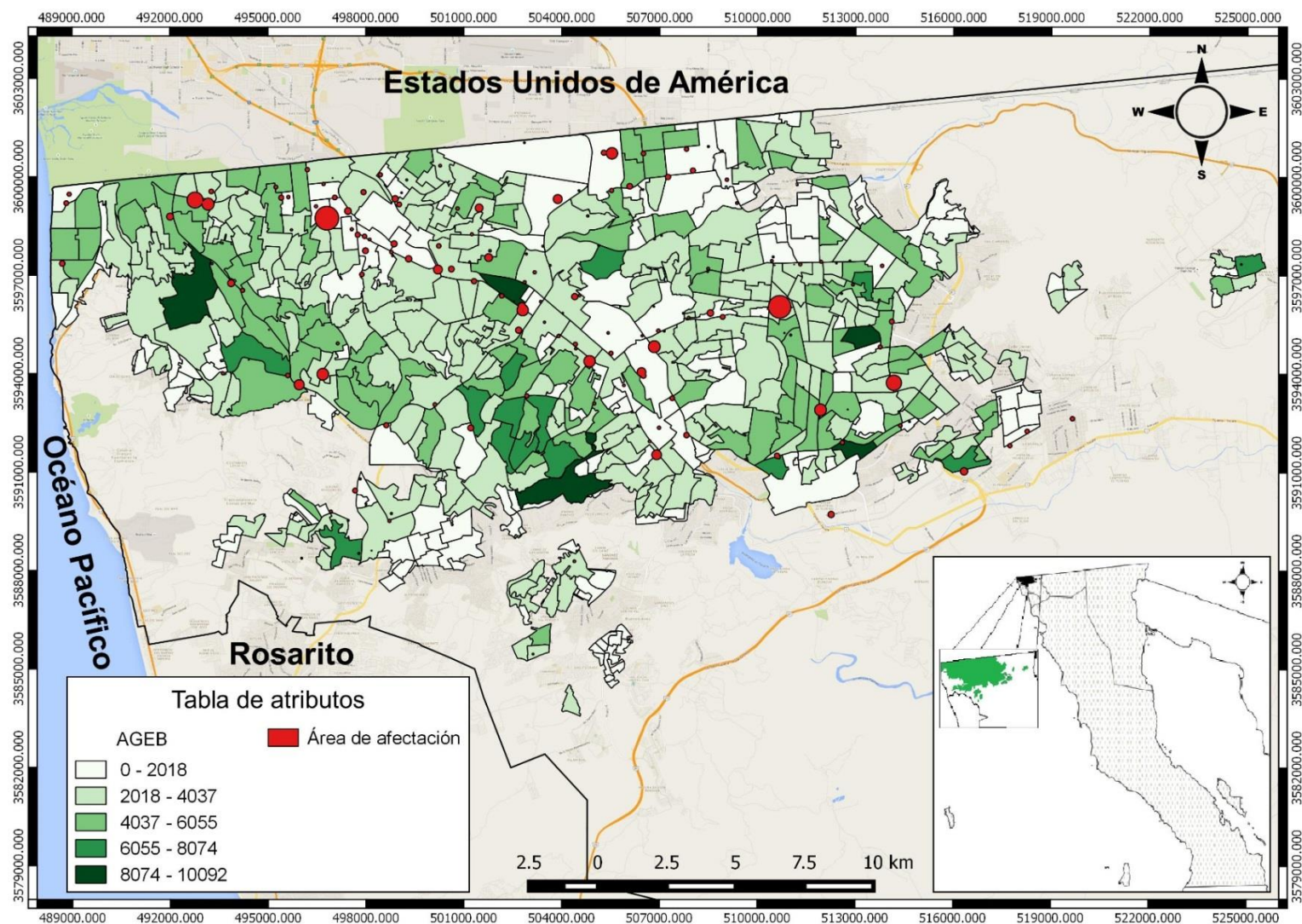
Áreas de afectación dentro el área urbana de Tijuana generadas con la unión de los datos de viento, temperatura media y emisión de benceno.



Áreas de afectación dentro el área urbana de Tijuana generadas con la unión de los datos de viento, temperatura media y emisión de benceno.



Áreas de afectación dentro el área urbana de Tijuana generadas con la unión de los datos de viento, temperatura media y emisión de benceno.

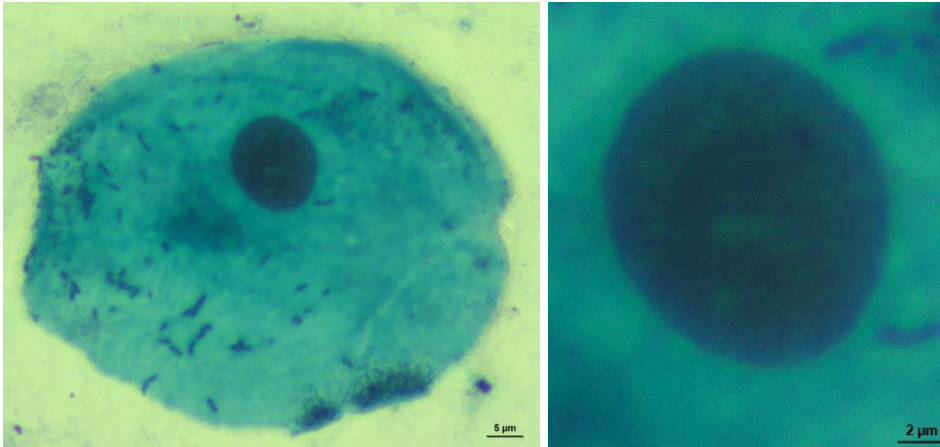


Áreas de afectación teóricas con el implemento del recuperador de vapor de fase II.

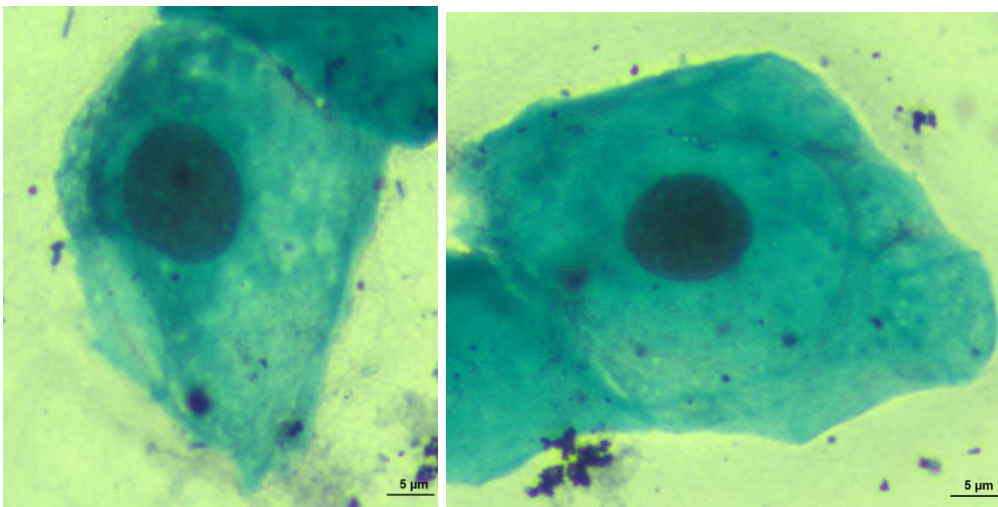
Anexo 8

MICROGRAFÍAS DE EPITELIO BUCAL

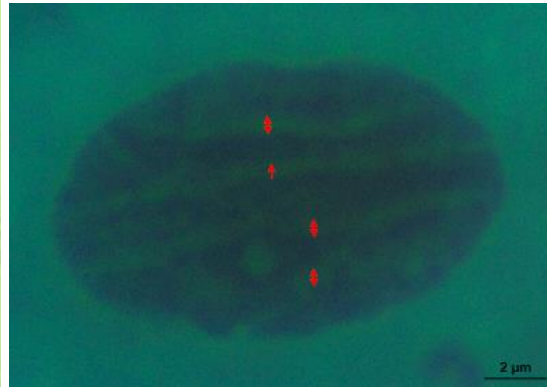
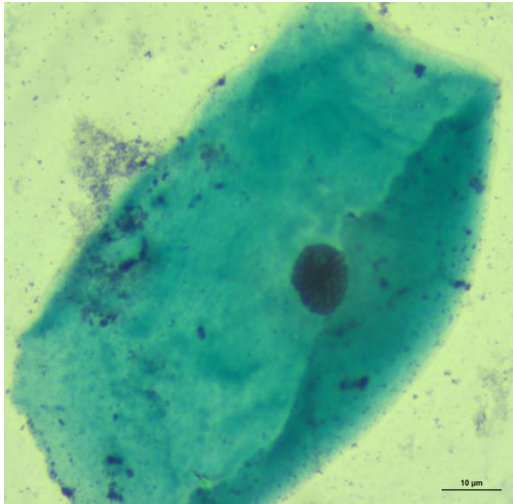
Células normales



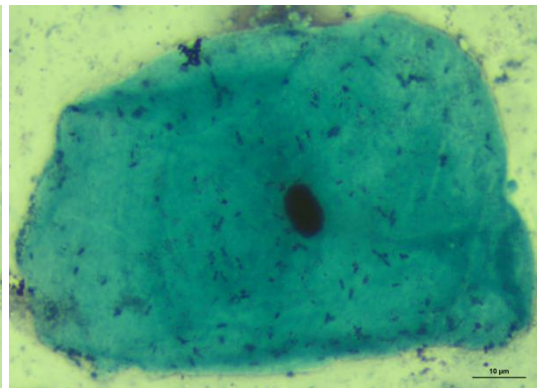
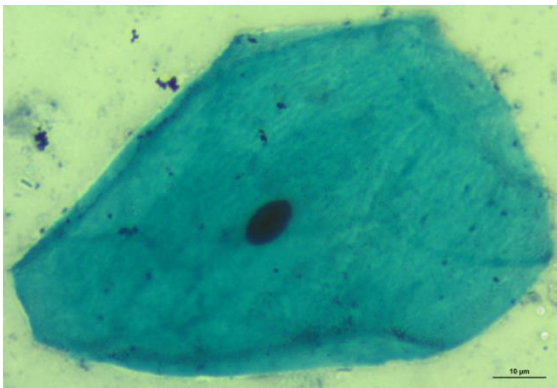
Basales [BS]



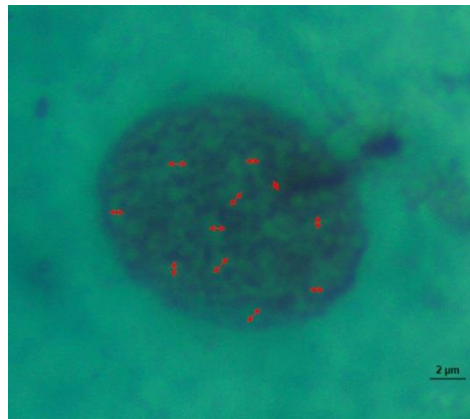
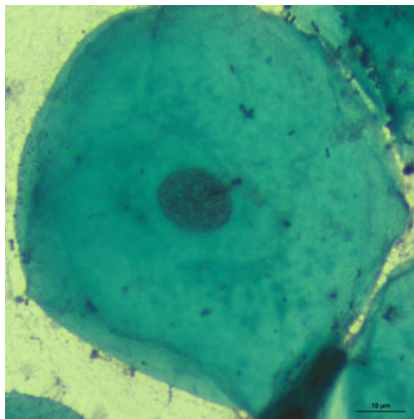
Cromatina condensada [CC]



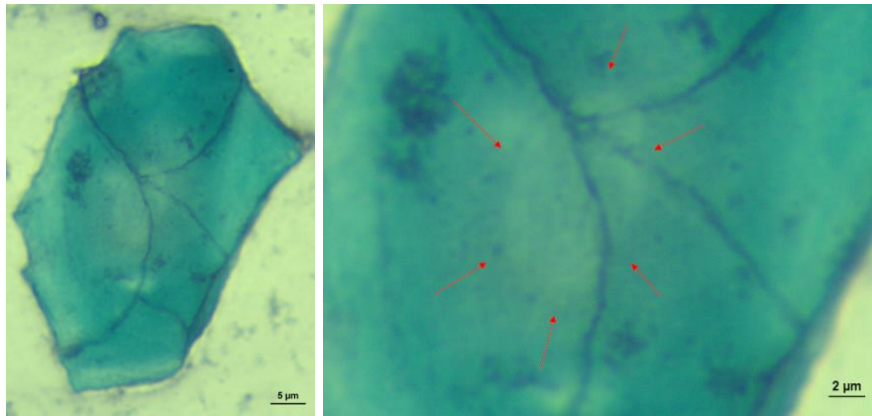
Picnosis [PC]



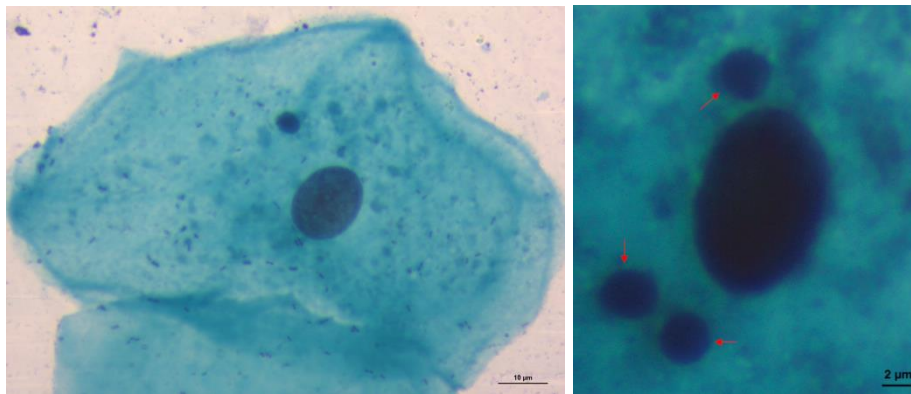
Cariorexix [KR]



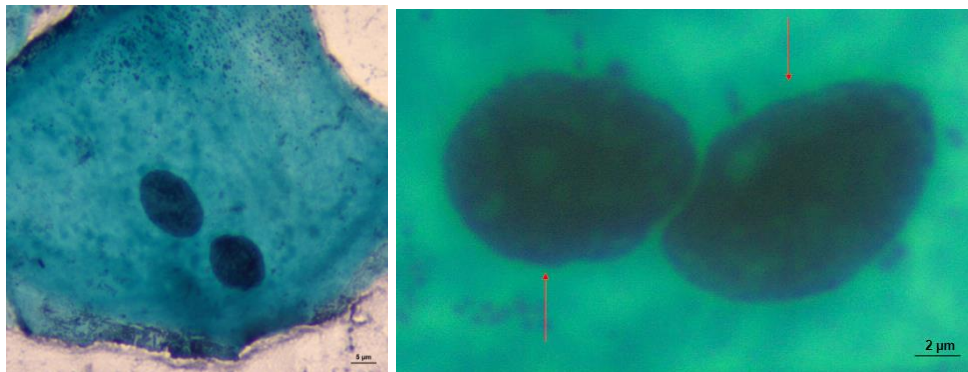
Cariolisis [CL]



Micronucleadas [MN]



Binucleadas [BN]



Brotos nucleares [BUD]

