



**El Colegio
de la Frontera
Norte**



**ESTIMACIONES DE CAPTURA DE LOS PARQUES Y
EMISIONES DE CO₂ VEHICULAR EN TIJUANA, B.C.**

Tesis presentada por

Ana Yurendy Domínguez Madrid

para obtener el grado de

**MAESTRA EN ADMINISTRACIÓN INTEGRAL DEL
AMBIENTE**

Tijuana, B. C., México

2016

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Directora de Tesis: _____

Dra. Lina Ojeda Revah

Aprobada por el Jurado Examinador:

1. _____

2. _____

3. _____

Agradecimientos

Quiero dar las gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que se me fue otorgada para poder realizar mis estudios, por apoyarme económicamente, por brindarme la oportunidad de devolver algo a mi país, por poder acercarme a la realidad, dificultades o carencias por la cuales atraviesa nuestra sociedad.

Darle las gracias al Colegio de la Frontera Norte (COLEF) y El Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por brindar las instalaciones y apoyo necesario para desarrollar profesionales de alto nivel, por ofrecer maestros calificados los cuales nos brindaron con la mejor disposición sus conocimientos y consejos.

Agradezco a la Dra. Lina Ojeda Revah a la Dra. Gabriela Muñoz Meléndez y la Dra. Lourdes Villers por el tiempo dedicado a resolver mis dudas, por guiarme con una visión crítica y profesional, por su inmensurable paciencia y apoyo. Reconozco a Carlos Vázquez por el tiempo que dedico para ayudarme con el trabajo de campo y elaboración de los mapas.

Agradezco a mi novio por ayudarme con el trabajo de campo y mantenerme despierta durante las largas jornadas destinadas para la elaboración de la tesis.

En especial agradezco a mi familia por todo su amor, confianza y apoyo incondicional durante toda mi vida. Por apoyarme de manera económica y moral durante todos estos años de formación académica.

RESUMEN

Las áreas urbanas emiten grandes cantidades de dióxido de carbono, sin embargo el arbolado de los parques puede capturar este gas y actuar como sumideros naturales dentro de las ciudades. El conocimiento sobre el potencial de captura de la vegetación urbana en relación con el CO₂ emitido por los vehículos automotores es limitado y escaso, pero necesario para formular medidas de mitigación ante el cambio climático. En esta investigación se estima la capacidad de captura de CO₂ de los árboles de los parques de Tijuana que podrían contrarrestar las emisiones provenientes de los vehículos automotores. Para ello, en una muestra representativa de parques, se identificaron las especies vegetales, se midió el diámetro a la altura del pecho de cada árbol presente y se calculó la captura de CO₂ utilizando el software *i-tree design*. Para las emisiones de CO₂ de los vehículos se usó el método del IPCC 2006 que emplea la cantidad de combustible vendido. Los resultados muestran que los parques tienen un potencial de captura de CO₂ limitado para contrarrestar las emisiones de los vehículos. Sin embargo, también se discuten potenciales estrategias de forestación y medidas de control vehicular que pueden disminuir la cantidad de CO₂ en la atmósfera, que se traducen en un conjunto de recomendaciones técnicas y legales.

Palabras clave: Arbolado urbano, emisiones de CO₂, captura de CO₂, vehículos automotores.

ABSTRACT

Urban areas release large amounts of carbon dioxide, however parks' trees can capture this gas and act as natural sinks within cities. Knowledge about the potential of urban vegetation in relation to the CO₂ produced by motor vehicles is limited and scarce but necessary to formulate mitigation measures to climate change. In this research, the ability to capture CO₂ from trees at Tijuana parks was estimated to counterbalance motor vehicles emissions. In order to do so, in a representative parks sample, species present were identified, diameter at breast height of each tree was measured, and the amount of CO₂ sequestration was calculated using *i-tree design* software. Vehicles CO₂ emissions were estimated using the sold fuel method of IPCC 2006. Results show that parks have limited CO₂ capture potential to offset emissions from vehicles. However, they also reveal potential forestation strategies and vehicular control measures that can improve this feature mitigation and how these could be translated into a set of technical and legal recommendations.

Key Words: Urban trees (urban forest), CO₂ emissions, CO₂ sequestration, motorized vehicles.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	10
Antecedentes.....	2
Estimaciones de emisiones de carbono producidas por el sector transporte	3
La vegetación como sumidero de carbono	4
Estudios comparativos de emisiones y captura carbono.....	5
Metodologías para estimar la captura de carbono y las emisiones vehiculares de CO ₂	5
Marco legislativo del cambio climático.....	7
Planteamiento del problema	9
Preguntas de investigación	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos	10
Justificación	10
Hipótesis	11
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	12
1.1 Sostenibilidad urbana.....	12
1.2 Cambio climático - Gases de efecto invernadero	13
1.2.1 Emisiones por fuentes móviles	14
Servicios ambientales	16
CAPÍTULO II. MARCO CONTEXTUAL	20
2.1. Ubicación y características	20
Area de estudio	22
2.2. Aspectos sociales	23
2.3. Movilidad Urbana: Transporte y combustible.....	23
2.4. Áreas Verdes en Tijuana.....	25
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	26
3.1. Estimación de la captura de CO ₂	26
3.1.1. Estimación de muestra representativa de parques	26
3.1.2 Estimación de la captura de CO ₂ de árboles por medio de i- tree design.....	28
3.1.3 Estimación de captura de CO ₂ de los parques de Tijuana	29

3.2. Estimación de las emisiones del transporte	30
CAPÍTULO IV. ANALISIS DE RESULTADOS	34
4.1 Captura de CO ₂	34
4.1.1 Muestra representativa	34
4.1.2 Parques muestreados e inventario de árboles	37
4.1.3 Adecuación de información para el Software i-tree design	47
4.1.4 Estimaciones de captura de CO ₂	48
Captura de CO ₂ por parque	57
Captura de CO ₂ por delegación con datos del inventario	59
Captura de CO ₂ de los 240 parques de Tijuana	61
4.2 Emisiones de CO ₂ por consumo de combustible en Tijuana.....	64
4.2.2 Datos para la estimación de emisiones de CO ₂	67
4.2.3 Estimaciones de emisiones de CO ₂	69
4.2.4 Emisiones del consumo de combustible en términos de CO ₂ e.....	71
4.3 Escenarios de captura de CO ₂ del arbolado urbano	72
CAPITULO V. DISCUSIÓN	75
CAPITULO VI. CONCLUSIONES.....	81
BIBLIOGRAFIA	85
GLOSARIO.....	102
ANEXOS	104

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Condición del árbol.....	29
Cuadro 2. Fórmulas para estimación de emisiones de GEI por la combustión de energéticos .	31
Cuadro 3. Escenarios de mitigación de CO ₂ por tipo de área verde.....	33
Cuadro 4. Muestra representativa de parques por delegación y porcentaje de cobertura vegetal.	35
Cuadro 5. Especies presentes en los parques muestreados por delegación	41
Cuadro 6. Superficie, calidad, y especies e individuos por parques muestreado.	45
Cuadro 7. Localización de las especies en el software.....	47
Cuadro 8. Relación entre captura de carbono, DAP y población por especie.....	54
Cuadro 9. Especies que capturan más de 100 Kg de CO ₂ en el 2015.	56
Cuadro 10. Captura de CO ₂ por parque y por delegación	58
Cuadro 11. . Resumen de datos de la muestra representativa (54 parques) por delegación.....	59
Cuadro 12. Resumen de datos de los 240 parques urbanos por delegación.	61
Cuadro 13. Comparación de factores de emisión de combustibles	67
Cuadro 14. Poder calorífico neto, densidad y factores de emisión CO ₂ por tipo de gasolina que llega a Tijuana.	68
Cuadro 15. Emisiones de CO ₂ durante el 2015 en Tijuana.	69
Cuadro 16. Vehículos registrados en 2014.....	70
Cuadro 17. Emisiones de GEI por consumo de combustible en Tijuana durante el 2015.	70
Cuadro 18. Emisiones de CO ₂ e.	71
Cuadro 19. Capacidad de captura de CO ₂ de diferentes superficies de parques en Tijuana.....	73
Cuadro 20. Variedad de especies del arbolado urbano de otras ciudades.	76
Cuadro 21. Estimación de captura de CO ₂ del arbolado en parques de otras ciudades.....	77
Cuadro 22. Densidad arbórea y captura de CO ₂ del arbolado urbano de otras ciudades.	78

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Tamaño de muestra para la estimación de la proporción representativa.....	26
---	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama general del marco teórico conceptual.....	12
Figura 2. Diagrama de emisiones GEI para México (2010).	15
Figura 3. Logística del abastecimiento de combustible a Tijuana	65

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Porcentaje de parques muestreados según rango de superficie (m ²).....	37
Grafica 2. Abundancia de especie en los parques muestreados	39
Grafica 3. Abundancia de <i>Schinus terebinthifolius</i> por delegación.....	43
Grafica 4. Numero de especies de parques muestreados por Delegación	44
Grafica 5. Porcentaje de la población de árboles acorde a su DAP (cm).....	48
Grafica 6.a. Relaciones entre DAP y Captura de CO ₂ de algunas especies durante el 2015. ...	50
Grafica 6.b. Relaciones entre DAP y Captura de CO ₂ de algunas especies durante el 2015. ...	51
Grafica 6.c. Relaciones entre DAP y Captura de CO ₂ de algunas especies durante el 2015. ...	52
Grafica 7. Densidad del arbolado (árboles/ha) y número de árboles por delegación.....	60
Grafica 8. Estaciones de Servicio en Tecate, Tijuana y Rosarito 2015.	65
Grafica 9. Volumen de venta de combustible en Tijuana durante 2015.	66

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. El CO ₂ en el mundo.....	18
Ilustración 2. Imagen de algunos parques de Tijuana.	57
Ilustración 3. Comparación entre la captura y emisión de CO ₂ al año en Tijuana.....	72

INDICE DE MAPAS

Mapa 1. Área de estudio.....	22
Mapa 2. Ubicación de los 54 Parques muestreados para la estimación de la captura de CO ₂ en Tijuana.....	36
Mapa 3. Delegaciones con DAP >30cm.....	49
Mapa 4. Densidad arbórea (árboles/m ²) por delegación.....	62
Mapa 5. Captura de CO ₂ por delegación.....	63
Mapa 6. Instalaciones y Distribución de Combustibles para Baja California.....	64
Mapa 7. Escenario 3. Áreas verdes de Tijuana al 2015 con 87.5% de cobertura.....	74

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de parques de acuerdo a SEDESOL.....	civ
Anexo 2. Cuadro de operalización de variables usadas.....	cv
Anexo 3. Formato usado para recabar los datos para el inventario de los arboles presentes en parques muestreados.....	cvi
Anexo 4. Especies utilizadas en los parques de Tijuana.....	cvii
Anexo 5. Inventario del vivero municipal de Tijuana 2015.....	cviii
Anexo 6. Venta de combustibles de diversas ciudades de México.....	cix
Anexo 7. Comparativo de Algunas Zonas Metropolitanas de México en el 2010.....	cix
Anexo 8. Datos base para la estimación de emsiones de CO ₂	cx

INTRODUCCIÓN

Durante el último siglo se ha dado un aumento en la temperatura en todo el mundo (Lashof y Ahuja, 1990), fenómeno que ha sido relacionado con el cambio climático antropogénico. Entre las causas del cambio climático destacan dos; la primera es el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) de los cuales el dióxido de carbono (CO₂) es el más dominante (Olivier et al., 2005); y la segunda es la pérdida de sumideros naturales de carbono resultado de la deforestación de selvas y bosques (Challenge, 2009).

Los efectos del cambio climático se han hecho notar en zonas rurales y urbanas (Nowak y Crane, 2002). Sin embargo, son las ciudades las que más contribuyen al aumento de CO₂ atmosférico (Velasco y Roth, 2010, p. 1238), dado que aunque cubren menos del 3% de la superficie de la tierra, consumen el 75% de la energía en el mundo, producen el 80% de las emisiones globales de GEI y concentran un alto porcentaje de la población que se encuentra en riesgo ante las altas concentraciones de CO₂ (Chuanglin et al, 2015). Asimismo, cuando la población y la superficie urbana aumenta, se incrementan las emisiones de CO₂ como resultado de un mayor consumo de combustible necesario para cubrir trayectos cada vez más largos de la población, que se encuentra alejada de bienes y servicios (Liu y Li, 2012; Velasco y Roth, 2010).

En México, la mayor fuente de emisiones de GEI proviene del combustible usado por el transporte dentro de las zonas urbanas (INECC, 2012, p.63); el 18% de las emisiones son generadas por automóviles particulares; esto se explica si se considera que el 95% de la gasolina está destinada al autotransporte (Galindo, 2008). La contribución de CO₂ del transporte a la atmosfera tuvo una tasa de crecimiento anual de 6.32% entre 1980 y 2010, esto es, casi el triple de la tasa de crecimiento poblacional de 2.41% en 2010 (Medina, 2012); en tanto que la tasa de motorización pasó de 160 a 300 vehículos por cada 1,000 habitantes entre 2000 y 2012 (ONU-Hábitat, 2015).

Ante la creciente emisión de GEI generados por el sector transporte en las ciudades resulta relevante buscar e implementar mecanismos de captura de carbono urbanos, que ayuden a disminuir la presencia de esas emisiones en el ambiente (Weissert *et al*, 2014).

En las ciudades el conjunto de árboles urbanos, arbustos, césped y suelos permeables tienen el potencial para la mitigación local de las emisiones de CO₂, directa e indirectamente (Escobedo et al., 2011). Las plantas gracias a la absorción fotosintética durante el día presentan un almacenamiento primario de carbono en forma de tallos, troncos, ramas y raíces. De manera secundaria, las plantas reducen la demanda de calefacción y refrigeración en los edificios inmediatos al arbolado principalmente de tres formas: la primera es que al dar sombra se reduce la cantidad de calor absorbido y almacenado en los edificios; la segunda se debe a que la evapotranspiración de la humedad del follaje disminuye la temperatura del aire; y la tercera forma se debe a que el arbolado ralentiza los vientos, decreciendo la cantidad de calor perdido, y por lo tanto disminuyendo las emisiones relacionadas con el consumo de energía eléctrica en los edificios (McPherson et al., 1998; Nowak y Crane, 2002; Yang et al. 2005; Nowak et al., 2006; Zhao et al., 2010 y Escobedo et al., 2011).

Si bien las ciudades son fuentes emisoras de GEI, los parques urbanos poseen la capacidad de absorción de CO₂ (Doherty et al, 1997, Strohbach et al, 2012). Sin embargo, esta función de las áreas verdes urbanas como sumidero de carbono, así como su naturaleza multifuncional proveedora de numerosos servicios ambientales (ecológicos, sociales y económicos) de forma natural y gratuita (Ojeda-Revah y Alvares, 2000; Ojeda-Revah y Espejel, 2015), son generalmente ignorados.

Por lo mismo, en el presente trabajo se propone identificar la capacidad de absorción de CO₂ de los parques urbanos -dado por el arbolado-, en la ciudad de Tijuana; y contrastarla con la de emisiones GEI provenientes del parque vehicular.

Antecedentes

Los antecedentes del presente trabajo se componen de cuatro ejes principales; el primero lo conforman los estudios relacionados con las estimaciones de las emisiones de carbono producidas por el sector transporte, el segundo eje incluye las investigaciones relacionadas con la captura de carbono de la vegetación (particularmente la urbana), el tercer eje lo constituyen los análisis que contrastan las emisiones GEI contra la captura de carbono y por último, el cuarto eje se dedica al marco legislativo nacional y estatal en el que se inserta la captura de carbono.

Estimaciones de emisiones de carbono producidas por el sector transporte

Actualmente se sabe que los combustibles fósiles contribuye mayoritariamente a la generación de los GEI emitidos en el mundo (Andress et al., 2011). En el 2011 se emitieron 31.6 gigatoneladas de CO₂, cifra que representó un incremento de 3.2% con respecto al 2010 (Granados- Hernández, et al., 2015).

En el 2012 el transporte en México contribuyó con el 39% de las emisiones de CO₂, debido al consumo de combustibles. El estudio de Solís y Sheinbaum (2013) muestra que el consumo de gasolina del autotransporte está dominado por el transporte privado de pasajeros (34% de las emisiones de CO₂ del sector en el 2010), seguido por las camionetas ligeras de carga (26%). Se espera que en México la demanda de gasolinas -y por ende el volumen de emisiones GEI- aumente casi 55% para los próximos 20 años (Granados-Hernández, 2015).

La importancia de evaluar las emisiones vehiculares dentro de la agenda del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) en México empezó en 1996, con la elaboración de diagnósticos de información y metodologías para la estimación de fuentes móviles. Su finalidad fue reducir la incertidumbre en la generación, procesamiento y uso de información básica para todo el país (INE, 2006), y posteriormente la elaboración de un diagnóstico nacional de emisiones de fuentes móviles (INECC, 2014).

En 2007 se iniciaron una serie de estudios para caracterizar las emisiones, los patrones de actividad y la distribución de la composición de la flota vehicular en las ciudades de la frontera norte, incluidos Mexicali y Tijuana. El objetivo fue elaborar estrategias que minimizaran los impactos ocasionados ante la cantidad de vehículos usados (con más de 10 años) que se importarían de Estados Unidos de América (EUA) y Canadá a partir del 2009 con la entrada del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. La información recabada fue importante para determinar el impacto de las disposiciones arancelarias, sobre la composición de la flota vehicular y las emisiones vehiculares (TSTES, 2008).

Entre 2010 y 2011 se realizó un diagnóstico de la calidad del aire en Baja California, con base en la caracterización de la flota vehicular y la evaluación de las emisiones de escape, encontrando que el 80% de la flota vehicular correspondía a vehículos usados importados de EUA, de los que desconocía su nivel de emisiones contaminantes (INECC, SEMARNAT, 2011).

Actualmente se desconoce el estado de los vehículos que circulan por Tijuana debido principalmente a tres aspectos, 1) la falta de estudios recientes sobre el transporte y los contaminantes que emiten, 2) la falta de información y desinterés de los dueños del estado (físico y mecánico) de sus vehículos, y 3) la ausencia de datos actuales de las emisiones vehiculares del programa de verificación vehicular instaurado desde 2012 (TSTES, 2008; INECC y SEMARNAT, 2011).

La vegetación como sumidero de carbono

Desde 1900 ha existido un interés por reverdecer las zonas urbanas y maximizar los beneficios ambientales que la vegetación brinda (Urquiza, 2015). Por lo mismo, han surgido muchas investigaciones sobre dicha relación (Nowak, 2002, Johnson y Gerhold, 2003, Stoffberg et al, 2010, Escobedo et al, 2011, Mcpherson et al., 2013 y Yajie et al, 2014). Sin embargo, antes de 2010, la influencia de las áreas verdes urbanas sobre la calidad del aire y particularmente sobre las concentraciones de CO₂ atmosférico, fue escasamente estudiada (Yang et al., 2005) (Weissert et al, 2014).

Algunos estudios previos a ese año han resaltado el papel que juegan los árboles urbanos en el mejoramiento de la calidad del aire, cuantificando su potencial de captura de carbono (Yang et al., 2005). Actualmente se sabe que el secuestro de CO₂ está directamente relacionado con la tasa de variación interanual de carbono almacenado en la biomasa sobre y bajo el suelo (McPherson, 1998). Otros análisis comparativos han encontrado que existe una diferencia en el potencial de captura CO₂ entre bosques naturales y urbanos (Hyun-Kil, 2002).

También se ha reportado que la capacidad de captura de CO₂ puede variar debido a que la tasa de crecimiento de la vegetación urbana se ve alterada por el aumento de la temperatura (islas de calor), mayor deposición de nitrógeno y otros contaminantes (Wang y Pataki, 2010). Incluso se sabe que la densidad de los arboles urbanos es más baja (en comparación con los bosques naturales), lo que reduce la competencia entre ellos, cambiando su forma de crecimiento y alometría, lo que permite capturar y almacenar más CO₂ (McHale et al., 2009).

De acuerdo con Torres y Guevara (2007), el manejo apropiado de la vegetación es un mecanismo para la reducción de concentraciones de CO₂ a nivel global, y por consecuencia la captura de CO₂

a través de la vegetación se transforma en una estrategia potencial. La vegetación almacena y libera carbono como resultado de los procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca, el saldo es una captura neta positiva cuyo monto depende del manejo que se le dé a la cobertura vegetal, así como de la edad, distribución de tamaños, estructura y composición de ésta.

Para 2014 se empieza a hablar de la mitigación de las emisiones de CO₂ de los bosques urbanos en las ciudades (Weissert et al, 2014). Sin embargo, hasta ahora la mitigación potencial del arbolado urbano no se ha evaluado porque no se han cuantificado la captura de emisiones antropogénicas de CO₂ (Petaki et al., 2011).

Estudios comparativos de emisiones y captura carbono

Diversos estudios han planteado comparar las emisiones versus la captura de carbono que se da en las áreas urbanas, como lo hicieron se hicieron Liu y Li (2012) en Shenyang, China. Estos autores estimaron la capacidad de captura de carbono de los bosques urbanos mediante ecuaciones alométricas, y los compararon con las emisiones anuales provenientes de la quema de combustibles fósiles (identificando el tipo y coeficiente de conversión respectivo). Los resultados de este estudio encontraron que los bosques urbanos pueden desempeñar un papel importante en la mitigación de los efectos del cambio climático en las zonas urbanas por la reducción de CO₂ atmosférico; otro resultado mostró que es necesario contar con ecuaciones alométricas a nivel especie para estimar de forma más precisa la biomasa.

Metodologías para estimar la captura de carbono y las emisiones vehiculares de CO₂

Durante las últimas décadas, se han desarrollado diferentes metodologías para calcular la captura y almacenamiento de carbono que realiza la vegetación en las áreas verdes urbanas (Mijangos, 2015), en diversas escalas de tiempo y espacio (árboles individuales, parques, colonias, ciudades). La mayor parte de los estudios se han realizado en EUA, China, Corea, Alemania, Reino Unido y algunas otras ciudades de Europa (Nowak y Crane, 2002; Zhao *et al.*, 2010; Liu y Li, 2012).

Las primeras metodologías desarrolladas para estimar la captura y almacenamiento de carbono en zonas urbanas se realizaron con base en la biomasa de los árboles de Milwaukee, en EUA; en el cálculo se utilizaron ecuaciones alométricas para árboles forestales, las cuales permitieron predecir la biomasa de un árbol a partir de características fáciles de medir como el diámetro del tronco y la altura (Dorney et al, 1984). Años más tarde, al usar estas mismas ecuaciones en bosques cultivados, se comenzó a resaltar el potencial que los arboles urbanos podían tener para equilibrar las emisiones urbanas de CO₂; dado que esto permitiría conocer la cantidad de árboles necesarios para mitigación (Rowntree y Nowak, 1991; Nowak, 1993).

Hay que agregar que la biomasa de los parques urbanos está influenciada por el área cubierta de vegetación, el tamaño de la copa y la densidad de los árboles, la densidad de la madera, las tasas de fotosíntesis, las condiciones del lugar, el diámetro a la altura del pecho de los árboles (DAP). Para estimar la biomasa existen dos métodos, el más preciso, pero más destructivo es cortar el árbol, pesar en seco sus partes y determinar con la suma de cada sección la cantidad de carbono almacenado. El otro método, que es más común y menos destructivo es la aplicación de ecuaciones alométricas (Weissert et al, 2014). Las ecuaciones alométricas, se basan en la relación entre el diámetro a la altura del pecho (1.30 m), el volumen del árbol (Jenkins et al, 2004), la altura del árbol, la densidad de la madera y el estado del árbol entre otros parámetros (Aguaron, 2012) y varían entre especies (Strohbach et al, 2012).

La creación de modelos de cómputo y de acceso al público han impactado en el desarrollo de metodologías para estimar la captura y almacenamiento de carbono en las zonas urbanas, de estos, vale mencionar dos. El primero es “Modeloteca”, un paquete de computo en línea creado y manejado por la Conafor (Conafor, 2012), el cual por medio de ecuaciones alométricas de algunas especies forestales, permite conocer la biomasa de árboles forestales en México. El segundo es “*i-tree*” el cual fue desarrollado por el Servicio Forestal de EU (USDA) y colaboradores, los cuales han creado un inventario muy completo de árboles, basados en el tamaño, altura, especie, edad, características de la copa e información geográfica, entre otros datos que permiten estimar la captura y almacenamiento de carbono mediante ecuaciones específicas para árboles forestales y arboles urbanos (Weissert et al, 2014), por medio de sus diferentes subrutinas y herramientas. En su última versión “*i-tree design v6.0*”, esta herramienta en línea es muy atractiva, ya que es tan sencilla que permite a cualquier usuario hacer una

estimación simple de las características intrínsecas de árboles individuales, incluyendo la cantidad de CO₂ que captura medida en kilogramos, de acuerdo a la especie y al tamaño (DAP) de cada individuo, su ubicación geográfica y su estado físico. De igual forma tiene la variante de estimar los resultados del año en curso, un año o periodo específico en el futuro (basado en la edad estimada del árbol).

Millward y Sabir (2011) usando un inventario completo de los árboles y especies presentes en un parque de Toronto y el software *i-tree*, estimaron un valor monetario al arbolado de los parques públicos y encontraron que la relación costo-beneficio de los árboles varía dependiendo de la especie, tamaño, estado y ubicación.

De manera particular en México, existen investigaciones que por medio de ecuaciones alométricas (para determinar la biomasa) han estimado la captura de carbono de grandes áreas boscosas con diferentes coberturas de vegetación natural dentro de áreas urbanas, lo que les permitió estimar el valor potencial de la captura de carbono que se puede ofertar al mercado de acuerdo a su tipo de vegetación (Mijangos, 2015 y Balam, 2013).

Por otra parte la metodología más utilizada para estimar las emisiones de CO₂ provenientes de transporte es la propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) la cual se basa en el consumo de combustible (venta de combustible), el cual es el método más adecuado para estimar las emisiones de CO₂. En cambio el método que considera la distancia recorrida por tipo de vehículo y carretera es más adecuado para estimar CH₄ y el N₂O (IPCC, 2006), gases que se calculan por el consumo de combustibles.

Marco legislativo del cambio climático

México al ser miembro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, ha aceptado cumplir con una serie de compromisos entre los que destaca elaborar inventarios nacionales de GEI, formular medidas de mitigación y adaptación ante el cambio climático y promover el desarrollo sostenible, entre otros (CMNUCC, 2006). Sin embargo, como país también tiene interés en disminuir las emisiones de GEI a fin de reducir los impactos del cambio climático, y preservar y mejorar los sumideros y reservorios de carbono, por medio de marcos jurídicos y normativos.

México tiene como principal instrumento legal/normativo la Ley General de Cambio Climático (LGCC); ésta tiene como objetivo regular, fomentar y posibilitar la instrumentación de la política nacional en relación al cambio climático e incorporar acciones de adaptación y mitigación, con un enfoque de largo plazo, sistemático, descentralizado, participativo e integral (Cámara de diputados, 2015).

La LGCC cuenta con tres ejes estratégicos sobre adaptación y cinco de mitigación; con diferentes líneas de acción entre las que destacan, el desarrollar estrategias, programas y proyectos integrales de mitigación de emisiones de GEI para impulsar el transporte eficiente y sustentable (público y privado); el impulsar mejores prácticas agropecuarias y forestales con el objetivo de incrementar y preservar los sumideros naturales de carbono. Dentro de los sumideros naturales, se incluyen líneas de acciones para:

“Diseñar y operar planes, programas y políticas dirigidos a reducir la deforestación y la degradación de bosques y selvas... Establecer esquemas de restauración, regeneración o reforestación para la captura y almacenamiento de carbono en Áreas Naturales Protegidas y otros instrumentos de conservación del territorio y ecosistemas terrestres... Implementar esquemas de conservación de suelos, que aseguren su integridad e incrementen la captura de carbono “(CICC, 2013:41).

Asimismo, el estado de Baja California cuenta con la Ley de Prevención, Mitigación y Adaptación del Cambio Climático desde 2012, que en materia de mitigación, considera la preservación y el aumento de sumideros de carbono (Congreso del Estado de Baja California, 2015). Sin embargo, paradójicamente estas leyes solo consideran la protección, mantenimiento y creación de sumideros de carbono en áreas fuera de las zonas urbanas (no incluyendo a los parques urbanos), siendo que las zonas urbanas emiten gran cantidad de CO₂ por lo que es importante que existan sumideros dentro de la ciudad.

Planteamiento del problema

En los últimos años Tijuana ha experimentado un acelerado crecimiento del centro de población (mancha urbana), teniendo como resultado que en una superficie de 92,108.727 hectáreas - sin incluir la zona conurbada de Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito- (IMPLAN, 2010) se concentre 1`696,430 habitantes, que conforman casi la mitad de la población del estado de Baja California (COPLADE, 2014).

En la ciudad, el parque vehicular se ha duplicado de 212,125 en 1994 a 535,356 en 2014, sin considerar los que tienen placas extranjeras o que no tienen placa (INEGI, 2014). Esta motorización ha generado mayor demanda de combustibles fósiles (Sener, 2015), lo que a su vez ha generado una gran cantidad de GEI, incluido el CO₂ como uno de los principales productos de la combustión (ProAire, 2012). De hecho, el CO₂ es considerado un gas con importante efecto invernadero por su gran capacidad de retención de calor, lo que contribuye al calentamiento global (SEMARNAT, *et al.*, 2007).

Ante la problemática de las crecientes emisiones de CO₂ se vuelve indispensable contar con sumideros de carbono que atenúen el calentamiento global (FAO, 1999); entre los principales se encuentran el océano y la vegetación (Siegenthaler y Sarmiento, 1993). Sin embargo, las investigaciones referentes a la estimación de captura de carbono por medio de los bosques urbanos ha sido un área poco explotada nacional e internacionalmente (Escobedo et al, 2011).

La falta de áreas verdes no solo ha reducido el potencial de captura de carbono dentro de las ciudades, sino que ha privado a la población de gozar de los demás servicios ambientales que estos brindan de manera gratuita, incluidos los de adaptación ante el cambio climático como la regulación de la temperatura, entre otros (Flores, 2005).

Por otro lado, las políticas gubernamentales del estado de Baja California al momento, han considerado como mecanismos de prevención, mitigación y adaptación ante el cambio climático: la implementación de la verificación vehicular obligatoria, el mejoramiento del transporte público, el combate de incendios forestales, la incorporación de ecosistemas forestales a esquemas de pago por servicios ambientales, la declaración de áreas naturales protegidas, unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre o de manejo forestal entre otros (H. Congreso del Estado de Baja California, 2015). Sin embargo, no se ha considerado el potencial que un plan de acción crecimiento y mantenimiento del arbolado en

los parques urbanos pueden ofrecer como mecanismo de mitigación y adaptación ante el cambio climático (Verdaguer et al, 2015), como lo demuestra el déficit de áreas verdes en Tijuana las cuales son pocas en razón de número, extensión y porcentaje de cobertura vegetal (Huizar, 2012).

Preguntas de investigación

Ante la problemática anteriormente presentada surgen las siguientes preguntas:

¿Cuánto CO₂ captura el arbolado de los parques en Tijuana?

¿Cuánto CO₂ emiten los vehículos automotores en Tijuana?

¿Cuánto arbolado y de qué tipo, se requeriría para capturar el CO₂ emitido por los vehículos automotores en Tijuana?

Objetivo general

Estimar la capacidad potencial como sumideros de carbono que tienen los parques urbanos para mitigar las emisiones de los vehículos automotores en Tijuana, Baja California.

Objetivos específicos

Inventariar el arbolado de una muestra representativa de los parques de Tijuana.

Estimar la captura de carbono que realizan los árboles de los parques.

Estimar las emisiones de CO₂ producidas en Tijuana por los vehículos automotores.

Estimar la captura de carbono bajo diferentes escenarios de parques y áreas verdes

Justificación

Las zonas urbanas albergan a la mayor parte de la población mundial y son reconocidas como grandes fuentes de emisiones de GEI, principalmente por el uso de combustibles fósiles (Fernández, 2009). Asimismo, las zonas urbanas dada su alta concentración de población se definen como muy vulnerables ante los efectos del cambio climático (Quiroz, 2013, p.349) y por lo tanto, son zonas

estratégicas para el desarrollo de proyectos e investigaciones sustentables (INECC, 2012). Ante esta situación, es indispensable usar todos los mecanismos de mitigación y adaptación disponibles (tecnológicos, políticos, administrativos y naturales) (INE, 2010) para aumentar la resiliencia de las ciudades.

La vegetación urbana podría actuar como un mecanismo natural de mitigación de GEI en las ciudades (Revi et al, 2014). Con ello, los parques ciudadanos no solo pueden actuar como sumideros de carbono naturales al capturar y almacenar el CO₂, sino que por su naturaleza multifuncional, pueden mejorar la calidad de vida de sus habitantes por todos los servicios ambientales que ofrecen (Atiqul, 2011 y Baró et al, 2014).

Considerando que un árbol en buen estado de salud puede almacenar en promedio 3.5 kg de carbono por año, un área arbolada con una extensión de 2,500 m² podría absorber en un año el CO₂ que produce un auto al recorrer 18,000 km a la par de proporcionar oxígeno suficiente para 52 personas (Martínez- González y Chacalo-Hilú, 1994).

Al momento no es posible contabilizar cuanto está colaborando el arbolado de Tijuana a la captura de carbono, debido a que no existe un inventario de la vegetación, ni de los servicios que brinda. Esta información es necesaria para evaluar el potencial de captura, mismo que podría ser considerada entre los mecanismos de mitigación de emisiones GEI y otros contaminantes atmosféricos producidos por fuentes móviles (ozono, metano, carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y micro partículas) (Pardos, 2010).

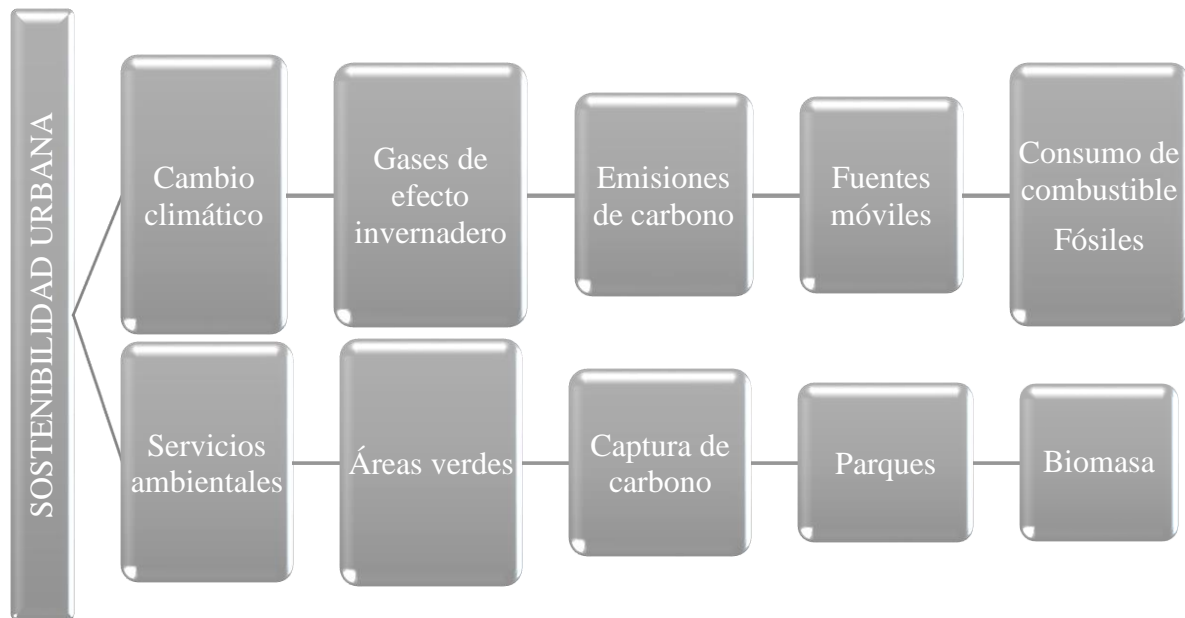
Hipótesis

Debido a la capacidad de absorción de CO₂ del arbolado en los parques urbanos de Tijuana, estos son una medida efectiva de mitigación para capturar las emisiones de CO₂ en las ciudades.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

El presente trabajo se encuentra bajo el marco teórico de la sostenibilidad urbana, especialmente ante el cambio climático y los servicios ambientales que las áreas verdes se pueden prestar para mitigar los efectos del cambio climático (Figura 1).

Figura 1. Diagrama general del marco teórico conceptual



Fuente: Elaboración propia

1.1 Sostenibilidad urbana

Según el enfoque de la sostenibilidad urbana, las ciudades son sistemas socio-ecológicos, en donde existe una relación entre los servicios ambientales y el bienestar humano. Bajo este concepto se busca un desarrollo urbano sostenible que no degrade el entorno y proporcione calidad de vida a los ciudadanos, a través de acciones ecológicas, económicas y sociales, que considere los procesos dentro y fuera del paisaje urbano (Cantú, 2015, Childers, 2015 y Wu, 2014).

Sin embargo, la presencia cada vez más notoria del cambio climático ha forzado a tomar acciones dentro de las ciudades, dejando atrás el sistema tradicional, para cambiar a un sistema que se encuentre bajo un enfoque de desarrollo sostenible con dimensiones científicas, económicas y políticas (Quiroz, 2013). La sostenibilidad urbana contiene lineamientos para luchar contra el cambio climático (IPCC, 2012), donde se busca generar un modelo de ciudad sostenible que incluya sistemas adaptativos complejos y se potencien los servicios ambientales, incluida la captura de carbono, proporcionando calidad de vida y cuidado del entorno (Young, 2010).

Las ciudades son las principales fuentes de contaminantes atmosféricos y GEI, ocasionando graves problemas, tanto a la población como al medio ambiente (Wu, 2014). Por lo tanto, las ciudades más sostenibles son aquellas que se preocupan por reducir las emisiones de GEI como el CO₂, disminuyendo sus niveles de contaminación y consumo de energía e incrementando el uso eficiente del transporte, al igual que promoviendo el aumento de áreas verdes (infraestructura verde) y el reciclaje; entre otras acciones (Córdoba, 2007). Por lo tanto, una ciudad sostenible deberá contar con un alto porcentaje de áreas verdes, que considere diversos hábitats con vegetación urbana y un alto índice de biodiversidad (Gómez, 2005).

1.2 Cambio climático - Gases de efecto invernadero

La causa principal del cambio climático es el aumento de la concentración de GEI que se ha producido desde la revolución industrial. Debido a que estos gases absorben y emiten radiación térmica, se retiene más calor en la atmósfera baja y por consiguiente, aumenta la temperatura media global de la superficie. El aumento de la temperatura tiene repercusiones sobre el sistema climático (WMO, sin fecha).

Se considera cambio climático a la *“variación de las condiciones climáticas medias y/o variabilidad de sus propiedades que se puede identificar y que se mantiene durante un período de tiempo prolongado, generalmente décadas o por más tiempo... producido debido a procesos naturales internos, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos duraderos en la composición de la atmósfera o en los usos del suelo”* (IPCC, 2012:557).

El efecto invernadero natural forma parte de un sistema equilibrado de transferencia de energía

entre la atmósfera, la superficie terrestre y los océanos. El clima permanece estable en gran medida, cuando la cantidad de energía que recibe es equivalente a la que desprende. Sin embargo, hay factores que han provocado cambios notables en el sistema climático. Durante el último milenio, los cambios en la energía del sol, las erupciones volcánicas y el aumento en la concentración de GEI han sido los forzamientos más importantes. El aumento de CO₂ en la atmósfera se ha convertido en la principal contribución al forzamiento radiactivo total desde 1750 (IPCC, 2013).

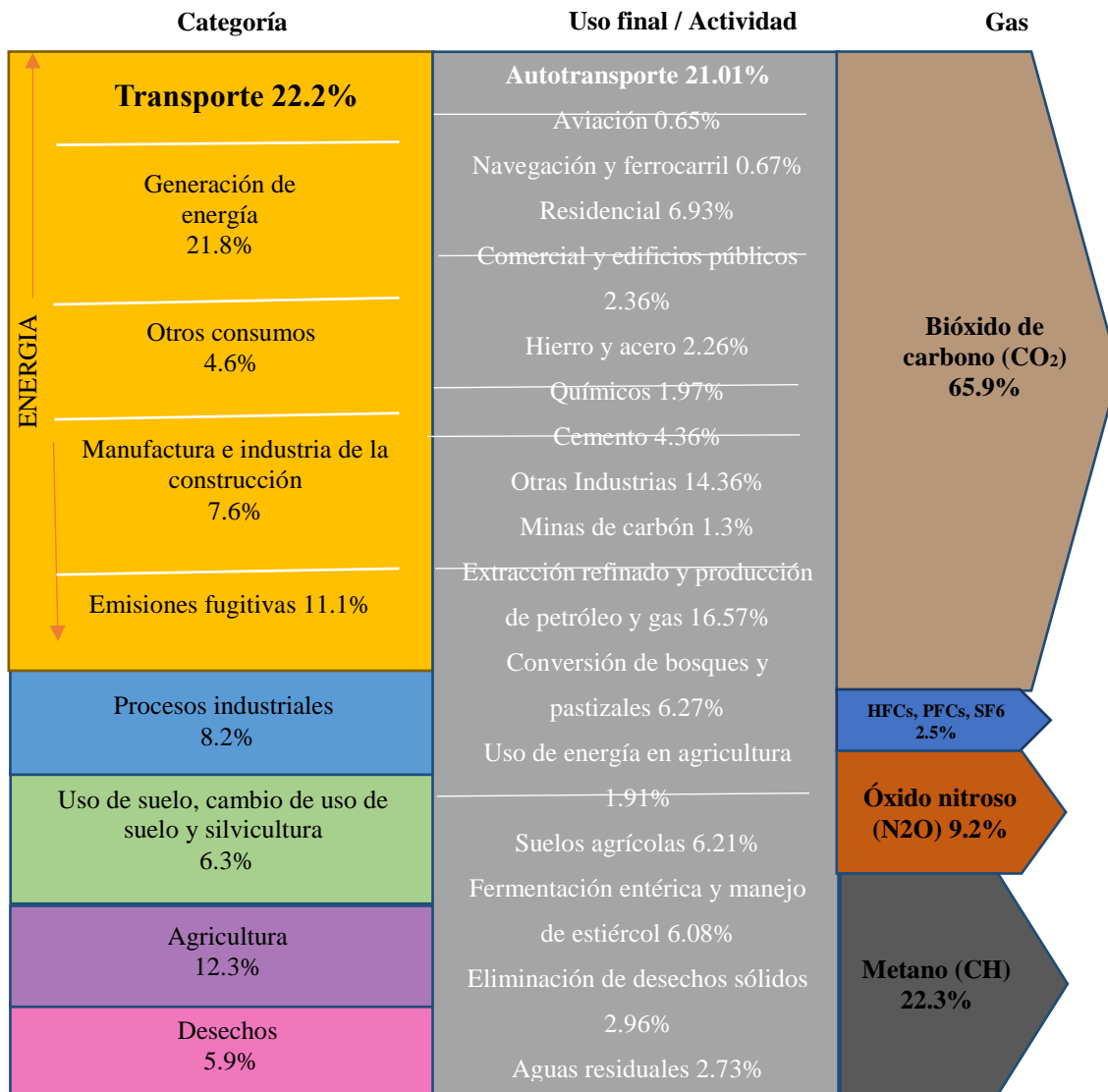
El CO₂ contribuye aproximadamente con 64% del forzamiento radiactivo total ocasionado por los GEI de larga duración, volviéndolo el GEI antropogénico más importante de acuerdo al IPCC en el 2007. Sin embargo en el inventario del 2010 del INECC, en México las emisiones del CO₂ correspondían al 65.9% (Figura 2). Las principales categorías de emisiones de GEI son el transporte con 22.2% (dentro de esta categoría se tiene el uso del autotransporte con el 21.01%), seguido por la generación de energía con el 21.8% (dentro de esta se encuentra la actividad de extracción refinado y producción de petróleo y gas con el 16.57%) y las demás actividades tienen una participación menor como se muestra en la figura 2 (INECC, 2010).

1.2.1 Emisiones por fuentes móviles

Las emisiones de un vehículo automotor son bajas, si se le compara con las emisiones de una chimenea industrial. Sin embargo, debido a la gran cantidad de vehículos en circulación representa la fuente principal de contaminación atmosférica (Muñoz *et al.*, 2012).

Los vehículos automotores producen en general dos tipos de emisiones de gases: evaporativas y por el tubo de escape (INE, 2007). Las emisiones causadas por la evaporación de combustible pueden ocurrir cuando el vehículo está estacionado y también cuando está en circulación; dependiendo las características del vehículo, factores geográficos y meteorológico (altura, temperatura y la presión de vapor del combustible). Las emisiones por el tubo de escape, son producto de la quema del combustible y comprenden una serie de contaminantes como: hidrocarburos, monóxido y bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, amoníaco, metano y partículas. Dichas emisiones dependen de las características del vehículo, su tecnología y su sistema de control de emisiones y el peso y potencia del vehículo; también se generan más emisiones según los kilómetros recorridos.

Figura 2. Diagrama de emisiones GEI para México (2010).



Fuente: INECC Inventario de Emisiones de GEI 2010.

Las emisiones de las fuentes móviles varían dependiendo del estado de mantenimiento del vehículo y su antigüedad; los factores operativos; variaciones tecnológicas (sin convertidor catalítico, manipulación de los sistemas de control de emisiones); la velocidad de circulación; la frecuencia de las aceleraciones y desaceleraciones; la carga del motor debido a la densidad del tránsito o la topografía de las vialidades, y las características del combustible como su contenido de azufre, adulteración y deficiente calidad. Todos estos factores juegan un papel determinante en las emisiones por el escape (IPCC, 2006 y INE, 2007).

Los combustibles, la gasolina y el diésel son mezclas principalmente de hidrocarburos, compuestos que contienen átomos de hidrogeno y carbono. Debido a que el proceso de combustión en un motor no es perfecto, estos emiten varios tipos de contaminantes al aire con implicaciones para la salud y el ambiente (SEMARNAT-INE, 2006): compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), bióxido de azufre (SO₂), partículas, plomo (Pb), amoniaco (NH₃) y bióxido de carbono (CO₂).

El CO₂ no atenta contra la salud pero es un GEI importante que contribuye seriamente al calentamiento global, al igual que el CH₄ y el N₂O, que forman parte de los GEI generados durante los procesos de combustión en los vehículos con un potencial de calentamiento de 21 y 310 veces mayor al del CO₂ (INE-SEMARNAT, 2005).

Servicios ambientales

Los parques urbanos como áreas verdes más allá de formar parte de un paisaje y promover espacios de esparcimiento y de cercanía con la naturaleza por medio de sus colores, formas y aromas; son capaces de brindar infinitos servicios ambientales.

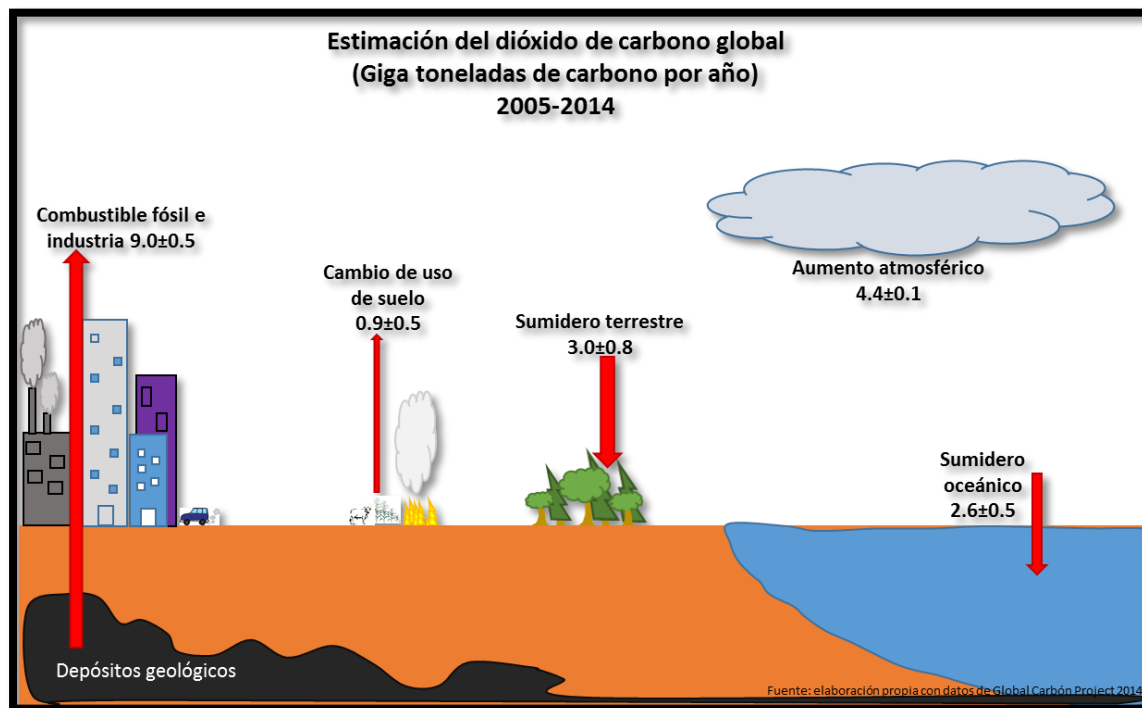
“Los servicios ambientales... son los beneficios intangibles que los diferentes ecosistemas o biomasa ponen a disposición de la sociedad de manera natural e influyen en el mantenimiento de la vida, generan beneficios y bienestar para las personas y las comunidades” (Reyes y Gutiérrez, 2010:97).

Los servicios que proporcionan a la sociedad los árboles urbanos son diversos, pueden desempeñar un papel importante en el mejoramiento de la salud y comodidad de los residentes dentro de las ciudades ya sea por la absorción y filtrado de contaminantes, la mejora de la calidad del aire y del agua local (Bolund y Hunhammar, 1999), la regulación de la temperatura mediante la reducción de la temperatura del aire y del llamado efecto isla de calor (Akbari et al., 2001), de manera adicional se ha reportado que las áreas verdes juegan un papel relevante para reducir los niveles de estrés y disminuir el tiempo de recuperación de algún padecimiento (Ulrich, 1979).

Los árboles urbanos también ayudan a disminuir inundaciones repentinas (Bolund y Hunhammar, 1999), amortiguan el impacto de los fenómenos naturales, protegen los suelos, son barrera contra ruidos, conservan la biodiversidad, mejoran el paisaje (Reyes y Gutiérrez, 2010), ofrecen un hábitat valioso para gran parte de la fauna urbana, incluyendo a las abejas y por ende la polinización (Doick et al., 2016); mejoran la cohesión social al ser áreas comunes de esparcimiento, reunión, recreación, deporte, o cuestiones culturales o de educación ambiental (Forestry Commission, 2010). De igual manera, también proporcionan beneficios económicos (Kenton et al, 2015) ya que incrementan el valor de las propiedades comerciales y privadas (Forestry Commission, 2010). Adicionalmente, los árboles urbanos capturan y almacenan carbono, absorbiéndolo en sus tejidos, ayudando a compensar las emisiones de carbono producidas por otras actividades urbanas (Noak et al., 2008).

El carbono se recicla continuamente en la tierra, nunca se destruye y puede almacenarse durante periodos de tiempo relativamente cortos en los organismos vivos, o durante miles de años en océanos y millones de años en rocas o fósiles. El impacto que tiene la actividad humana en el ciclo de carbono al extraerlo de los almacenamientos subterráneos de larga duración (petróleo, gas, etc.) y liberarlo en la atmósfera, ha desequilibrado su ciclo, repercutiendo en el clima global. Además debido a la deforestación se ha agravado el proceso al eliminar el carbono almacenado (UNEP, 2009).

Ilustración 1. El CO₂ en el mundo



Fuente:Elaboracion propia con datos de Global Carbon Project (Le Quéré *et al.*, 2015).

El ciclo global del carbono integra un flujo entre la atmosfera, el océano y la biosfera terrestre (vegetación y suelo) considerando tanto las fuentes como los sumideros de CO₂, lo que permite estimar las emisiones de dióxido de carbono antropogénico, insumo del cambio climático global (Ilustracion 1) (Le Quéré *et al.*, 2015).

Los bosques juegan un papel primordial en el ciclo de carbono al absorber y retener CO₂ atmosférico, el cual en parte fluye de nuevo a la atmósfera en los procesos de respiración autotrófica en la vegetación y heterotrófica en el suelo (Pardos, 2010). Los océanos y los bosques son los principales sumideros de carbono, es decir, pueden absorber la mitad del CO₂ emitido por la actividad humana (OMM, 2013).

El contenido de carbono en la vegetación es el almacenado en la biomasa por efecto de su incorporación durante la fotosíntesis, por lo tanto, la cantidad de carbono almacenado es proporcional a su biomasa (McPherson, 1998; Aguaron, 2012). La captura y fijación del CO₂ en

los árboles se realiza durante su crecimiento, es decir la tasa anual de carbono almacenado debido al incremento de su biomasa –aproximadamente 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono (Quiñónez, 2010 y Strohbach et al, 2012).

La captura de carbono está directamente relacionado con la tasa de variación interanual de carbono almacenado en la biomasa sobre y bajo el suelo de CO₂ (McPherson, 1998) y de acuerdo al IPCC se definen cinco diferentes almacenes de carbono en la vegetación (IPCC, 2003): el suelo, el mantillo (hojarasca), la biomasa viva por debajo del suelo (raíces), la biomasa muerta sobre el suelo y biomasa viva sobre el suelo (tallos, ramas, corteza, semillas y follaje, de árboles arbustos y herbácea) (PMC, 2015).

La captura de carbono por la vegetación urbana se refiere a la tasa anual de captura y almacenamiento de CO₂ durante una temporada de crecimiento (anual) de la vegetación, para el caso del arbolado esta dependerá principalmente de las tasas de crecimiento (los arboles de crecimiento rápido inicialmente capturan mas CO₂ que uno de crecimiento lento), (Chaparro y terradas ,2009), edad, condición (los individuos jóvenes retienen el carbono a tasas más altas que los arboles maduros) y la vida útil del árbol- esperanza de vida, debido a que cuando el arbol muere el carbono es liberado a la atmosfera (Stoffberg et al., 2010).

Tambien influyen las características del sitio en el que se encuentra el parque: el clima (que la especie este adaptada al tipo de clima) , la composición, estado, distribución, estructura de cada una de las especies y del manejo que se le da al parque (Pardos, 2010). Otras variables es el mantenimiento (la poda) y la densidad del arbolado (Chaparro y terradas, 2009), esta ultima es la responsable de que se concidere que los arboles urbanos a nivel individual capturen mas CO₂ que un árbol en un bosque natural debido a que presentan una considerable biomasa en su follaje , su corona o copa del árbol tiene una mayor exposición a la luz y se enfrenta a menos competencia por arboles cercanos, menor estrés y enfermedades, aparte se tiene que añadir la irrigación, uso de fertilizantes y otros factores de mantenimiento lo que les permite estar mas vigorosos y sanos lo que conduce a una alta tasa de crecimiento (McPherson y Simpson, 1999).

CAPÍTULO II. MARCO CONTEXTUAL

2.1. Ubicación y características

Tijuana forma parte de uno de los cinco municipios que integran Baja California y se localiza al noroeste del estado, su cabecera municipal se ubica en las coordenadas 32°32' de latitud norte y 117°03' de longitud oeste (BCGE, 2015). La ciudad colinda al norte con San Diego, California, EU, al oeste con el océano Pacífico, al este con la ciudad de Tecate, al suroeste con el municipio de Playas de Rosarito y al sureste con el municipio de Ensenada (Ruiz et al, 2015:34). Se encuentra situada en un terreno irregular, con una altura sobre el nivel medio del mar de 0 hasta los 500 m (Jáuregui, 1981:90).

En el sistema de ciudades en el país, Tijuana se ubica dentro de las 16 ciudades principales. Asimismo junto con los municipios de Tecate y Playas de Rosarito forma parte de la Zona Metropolitana de Tijuana (ZMT) destacando como una de las nueve zonas metropolitanas de más de un millón de habitantes y es considerada dentro del grupo de las seis Metrópolis Transfronterizas del país (PDUCPT, 2010).

El clima de Tijuana es predominante árido, templado y seco, que presenta veranos cálidos y secos, y lluvias en invierno (por lo que se le denomina tipo mediterráneo seco); con una temperatura promedio anual de 21°C, que en verano asciende a una media a los 26°C y durante el invierno la media mínima es de 6°C. Las precipitaciones son escasas e irregulares, con una media anual de 230 mm (PDUCPT, 2010). También presenta fuertes vientos que provienen de la Sierra Madre (vientos de Santana) que pueden ser calientes y secos en verano, o fríos y secos en invierno y que bajo condiciones climáticas adversas pueden superar los 140 km/h. (PDUCPT, 2010).

La geología cuenta con formaciones del cenozoico y del mesozoico, con rocas sedimentarias e ígneas (INEGI, 2006). Se encuentra en la provincia fisiográfica Península de Baja California, en la sub-provincia Sierra de Baja California. Sus topo formas son sierras, lomeríos, lomeríos con bajadas, mesetas, mesetas con lomeríos, llanuras y valle, predominando la sierra y la meseta (INEGI, 2006).

Los tipos de suelo predominantes son leptosol (57.96%), vertisol (10.86%), cambisol (4.41%), regosol (2.60%), fluvisol (1.89%), pheozem (1.52%), luvisol (0.07%) y arenosol (0.02%), en la zona urbana originalmente había regosol, leptosol y vertisol; en cuanto al uso de suelo se

encuentra principalmente distribuido en uso agrícola (9.44 %), uso urbano (20.31%), matorral (51.02%), bosque (0.66%) (INEGI, 2009).

Su hidrología corresponde a la Cuenca del Río Tijuana, cuenta con los ríos Tijuana, Las Palmas, y Guadalupe y los arroyos La Hechicera, El Descanso, Cuero de Venado, el Bajío, Calabazas, Arroyo Seco y Las Palmas como sus afluentes principales; su caudal es captado por las presas Abelardo L. Rodríguez y El Carrizo (INEGI, 2009).

El tipo de vegetación predominante es el matorral que se localiza en lomeríos, mesas, arroyos y bajos de naturaleza temporal, los cuales se mantienen secos en la mayor parte del año, excepto en invierno que es época de lluvias. También existen distintas clases de árboles de más de cinco metros (BCGE, 2015).

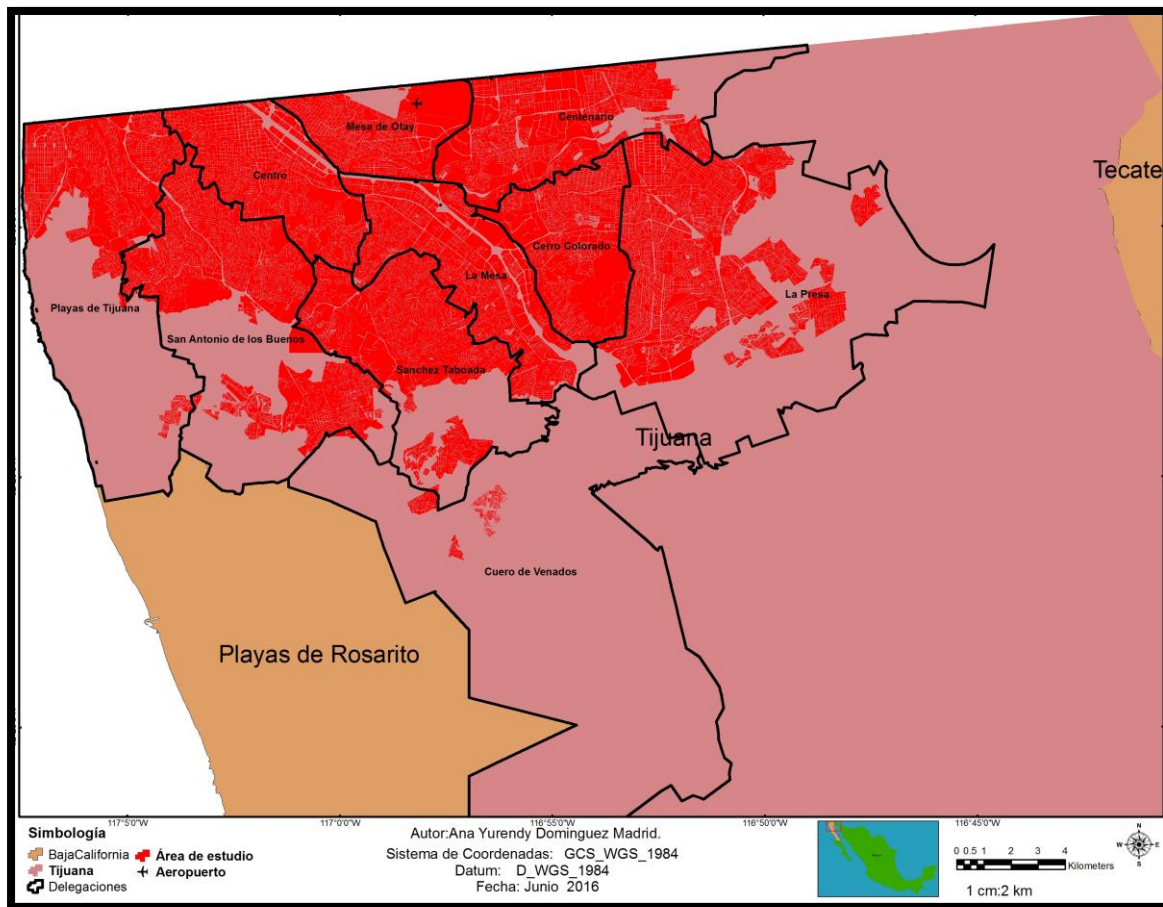
El sistema vial está integrado por 934.84 kilómetros de longitud que representan el 88% del total municipal (IMPLAN, 2012). La morfología que caracteriza a Tijuana, es una topografía accidentada, lo cual impide la existencia de un sistema vial distribuido armónicamente con la demanda de la creciente expansión urbana (IMPLAN, 2012).

Aunado a lo anterior, la alta tasa de motorización municipal, se traduce en una alta concentración de vehículos en las principales vialidades, generando un congestionamiento con altas demoras y bajas velocidades de recorrido entre los viajes; lo que se ve reflejado en altos costos de desplazamiento y mayores emisiones de contaminantes a la atmosfera (Ayuntamiento de Tijuana, 2011).

Área de estudio

Como área de estudio para la presente tesis se considera la superficie de 92,108.727 hectáreas del Centro de Población de Tijuana (PDUPT, 2010:5) y a 10 de sus delegaciones: El Centenario, Centro, Playas de Tijuana, La Mesa, Mesa de Otoy, San Antonio de los Buenos, Sánchez Taboada, Cerro Colorado, La Presa, Las Palmas y Cuero de Venados.

Mapa 1. Área de estudio



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto metropolitano de planeación urbana de Tijuana, 2012.

2.2. Aspectos sociales

Tijuana concentra el 49.4% de la población estatal, con una densidad de población de 1,353.62 habitantes por kilómetro cuadrado siendo la sexta ciudad más poblada de México (Coplade, 2013), con población tanto fija como transitoria.

El gran crecimiento de la ciudad se atribuye a su situación fronteriza, la cual tiene una importante actividad industrial, comercial, turística y de servicios (Castañeda, 2015). Históricamente la relación entre Tijuana y San Diego se ha traducido en una intensa interacción social, cultural y económica, formando una zona urbana binacional separada únicamente por la línea fronteriza, situación potencializada con el Tratado de Libre Comercio (TLC) desde 1993 (Castañeda, 2015).

Por lo mismo, la población también ha aumentado con aquella que no logra cruzar la frontera y termina por establecer su residencia en Tijuana (Ayuntamiento de Tijuana, 2016).

La población residente que cruza diariamente a trabajar en EU pero vive en Tijuana, aumenta el tránsito vehicular y las emisiones de CO₂ en las garitas, donde el tiempo de espera para cruzar puede llegar a alcanzar varias horas (Mungaray y Ureña, 2015).

2.3. Movilidad Urbana: Transporte y combustible

La movilidad urbana, esto es, la habilidad de trasladarse de un lugar a otro (Handy, 2002), es fundamental para el desarrollo y la calidad de vida de los habitantes de una ciudad (ITDP-MÉXICO, 2012). Estimaciones señalan una tendencia en el incremento del uso del automóvil en las últimas dos décadas, ya que los kilómetros recorridos por los automóviles (KVR) del país, prácticamente se han triplicado al pasar de 106 millones KVR en 1990 a 339 millones KVR en 2010.

Durante el 2000 y el 2012 en México la tasa de motorización paso de 160 vehiculos a 300 vehiculos por cada 1,000 habitantes y la Zona Metropolitana de Tijuana estimaba 0.33 Autos por persona en el 2010 lo que la posicionaba en primer lugar de las zonas metropolitanas y ciudades de más de 500 mil habitantes seguida por la zona metropolitana del valle de México durante el mismo año (ONU-HABITAT, 2015).

Tijuana tiene el cuarto lugar del país con mayor número de kilómetros promedio recorridos al año y es la cuarta zona metropolitana con mayor número de automóviles privados (577,382 en 2010) (Medina, 2012).

En la zona metropolitana de Tijuana en el 2010 se tenía 5,663 KVR, ocupando el sexto lugar en el país y con una tasa media de crecimiento anual de 6.8 (el noveno lugar en el país); los KVR per cápita son muy altos, llegando a intensidades de uso del automóvil similar a ciudades como Nueva York y Las Vegas, considerándose esta situación alarmante (Medina, 2012).

La estructura del parque vehicular de Tijuana en 2007 se componía principalmente de vehículos importados con sólo una quinta parte nacionales; la proporción de camiones de pasaje y de carga que circulaban en la ciudad era muy similar entre importados y nacionales, mientras que la totalidad de las motos eran nacionales (INECC, 2007). Con ello, cuatro de cada cinco vehículos en circulación eran importados (TSTES, 2008). La predominancia de compra de vehículos usados (tres de cuatro personas) y la edad promedio del parque vehicular era de cinco a ocho años. Dentro de la ciudad el 88% de los propietarios de un vehículo se usaba siete días a la semana y únicamente el 13% con motivos de negocio, siendo el 87% restante para uso personal (TSTES, 2008).

Respecto al cilindraje, el 79% de los automóviles y el 69% de las pick-up eran de cuatro cilindros, el 92% de las van y el 62% de las SUV de 6 cilindros. El recorrido promedio de los autos se calculó que era de 360 km/semana, las pick-up/ estaquitas 573, las Van de 339 y los vehículos SUV 365. El consumo de gasolina promedio de los autos fue de 48 litros de gasolina por semana, las pick-up / estanquitas de 73 litros, las Van 57 litros y los vehículos SUV 58 (TSTES, 2008).

En cuanto a inspección y mantenimiento, el 20 % afinaba su auto más tres veces al año, el 54% dos veces, el 17 % una sola vez y el 9% no lo afina. El 84% de los vehículos contaba con convertidor analítico y el 86% con aire acondicionado (TSTES, 2008).

Las emisiones procedentes de los vehículos terrestres dependen del país en el que se vende el combustible (IPCC, 2006); por lo tanto, la cantidad de combustible vendido debe reflejar el consumo de combustible, debido a que existe una relación directa entre cada litro consumido de gasolina o diésel y las emisiones de CO₂ resultantes (ITDP-MÉXICO, 2012).

Ningún producto petrolífero es procesado en Baja California; por lo que no existe infraestructura básica del Sistema Nacional de Refinación en el estado; sin embargo existe infraestructura de

distribución la cual inicia en Rosarito y después se abastece por transporte de carretera a la ciudad de Tijuana por medio de terminales de almacenamiento y distribución (TAR) (Vázquez y Muñoz, 2012).

2.4. Áreas Verdes en Tijuana

Según un estudio llevado a cabo por Huizar en 2010, se registraron 240 parques en la ciudad de Tijuana, repartidos de forma desigual dentro de las 10 delegaciones, de forma que algunas cuentan con nueve parques y otras tienen hasta 51 parques. La superficie de los parques es variable de acuerdo a la clasificación de Sedesol (1999) (Anexo 1).

El 65% de los parques cuenta con juegos infantiles, casi el 50% con algún tipo de instalación deportiva y solo un 5% no cuenta con ningún tipo de infraestructura. En Tijuana, 31 de los parques son de uso privado (13%) y el resto son de acceso público a la población en general. La cobertura vegetal de los parques es muy diferente, pero un 70% cuenta con una cobertura arbórea de menos del 50% de su superficie (Huizar, 2012).

Su administración es tanto privada (administradores de cotos y privadas), de la ciudadanía (asociaciones de colonos y vecinos), como pública por medio del Instituto Municipal del Deporte de Tijuana (IMDET), el Sistema Municipal de Parques Temáticos de Tijuana (SIMPATT) y dirección de parques y jardines de la Delegación correspondiente a su ubicación.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Para analizar por medio de diferentes escenarios el potencial de captura de carbono que tienen los parques urbanos en Tijuana, se estimó cuánto CO₂ captura y almacena el arbolado presente, y se comparó con el producido por el sector transporte (principal fuente de emisiones de GEI) en 2015. La información necesaria para llevar a cabo esta investigación comprendió dos aspectos: el referente a las emisiones de CO₂ a partir del consumo de combustible del sector transporte y el CO₂ capturado por los árboles de los parques existentes. La investigación se guió con la de operacionalización de variables contenidas en el cuadro del Anexo 2.

3.1. Estimación de la captura de CO₂

3.1.1. Estimación de muestra representativa de parques

Se calculó el número de parques que conforman una muestra representativa del inventario de parques de Tijuana y su porcentaje de cobertura arbórea, realizado por Huizar y Ojeda (2014), mediante un muestreo aleatorio estratificado.

Para ello se usó la Ecuación 1 que estima la proporción representativa (desconocida)¹ de los parques; considerando un nivel de confianza de 90% y un margen de error de 10 por ciento (Ecuación 1):

Ecuación 1. Tamaño de muestra para la estimación de la proporción representativa

$$n = \frac{z^2(p \cdot q)}{e^2 + \frac{(z^2(p \cdot q))}{N}}$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

z= Nivel de confianza deseado

p= Proporción de la población con la característica deseada (éxito)

q= Proporción de la población sin la característica deseada (fracaso)

e= Nivel de error dispuesto a cometer

N= Tamaño de la población

¹ Se optó por esta ecuación dado que no hay información previa que sugiera un posible valor estimado de la proporción representativa de la captura de carbono media del arbolado en los parques urbanos de Tijuana

Con la finalidad de que esta muestra de parques tuviera una representatividad estadística, tanto espacialmente (por delegación), como por porcentaje de cobertura vegetal, el inventario de parques se estratificó considerando las combinaciones de ambas características, aplicando los siguientes pasos:

1. Se ordenó la base de datos de los parques por delegación y por porcentajes de cobertura arbórea de la siguiente manera:
 1. 0 a 25%
 2. 26 a 50 %
 3. 51 a 75%
 4. 76 a 100%
2. Se calculó el porcentaje de parques existentes por delegación y por grupo, el resultado de cada uno se multiplicó por la cantidad representativa de parques a muestrear. Con ello se obtuvo la muestra representativa de parques por delegación y por grupo.

Por ejemplo.- Si la delegación de la mesa contaba con 10 parques dentro de la categoría de cobertura arbórea 1 (0-25 %) lo que equivale al 4% de los 240 parques, se seleccionaron dos parques de esta categoría en la delegación de La Mesa sin importar su tamaño (m^2) siempre y cuando su localización estuviera dentro de la delegación y cumpliera con el porcentaje de cobertura arbórea. Este procedimiento se repitió para las tres categorías restantes (26-50%, 51-75% y 76-100% de cobertura arbórea) en la misma delegación.

3.1.2 Estimación de la captura de CO₂ de árboles por medio de i- tree design

Para estimar el CO₂ capturado por cada parque de la muestra representativa se usó el programa en línea “*i-tree design v6.0*” (<https://www.itreetools.org/about.php>), elaborado por el USDA Forest Service de EU. Se obtuvieron los kilogramos de CO₂ capturado anualmente (año 2015) por cada individuo de acuerdo a su especie y tamaño, usando ecuaciones alométricas específicas para cada caso. Las variables requeridas por el programa para llevar a cabo este cálculo fueron:

1. Nombre de la especie
2. Diámetro o circunferencia a la altura del pecho de cada individuo (DAP).
3. Exposición a la luz solar
4. Estado o condición del árbol, en función de su follaje
5. Localización

Las variables fueron obtenidas durante el trabajo de campo para la colección de la muestra representativa de parques (apartado anterior). Para cada parque se creó una ficha de información llenada en campo (Anexo 3), con las cuales se conformó una base de datos.

Para la variable 1 “Nombre de la especie” Cada individuo (árbol) de cada parque fue identificado por medio de una guía de vegetación que considera características de hojas (forma, color), flor o fruto, tronco y aspecto en general (altura y tipo de copa), usando información de Álvarez (1996) (Anexo 4) y el inventario de especies existentes en los viveros municipales (Dirección de Servicios Públicos Municipales, 2015) (Anexo 5).

Para obtener la variable 2 “DAP” se midió por medio de una cinta métrica su circunferencia y al resultado se dividió por 3.1416 para obtener el diámetro (de esta manera se obtuvo circunferencia y DAP de cada árbol) en el sistema métrico decimal (cm).






La variable 3 de “exposición a la luz solar” dependió de si el árbol se encontraba a pleno sol, si tenía una exposición parcial de sol (sol y sombra) o sombra total.

El “estado o condición del árbol en función de su follaje” de la variable 4 se midió usando los parámetros mostrados en el cuadro 1.

Finalmente, para cada individuo en cada parque muestreado se buscó dentro del programa *i-tree design* en línea, el lugar más cercano a Tijuana en EU donde se localizaba (Código postal) para

que las características del sitio sean lo mas semejante; se ingresaron los datos obtenidos en campo por individuo, y se obtuvo la captura de CO₂ en Kg de cada árbol durante el 2015.

Cuadro 1. Condición del árbol

Categoría de condición de árboles		Características de la categoría
EXCELENTE		El árbol no aparenta tener perdida de hojas.
BUENA		El árbol tiene una pequeña parte con pérdida de hojas.
JUSTA		El árbol no cuenta con un cuarto de sus hojas.
POBRE		El árbol ha perdido la mitad de sus hojas.
MURIENDO		El árbol ha perdido la mayoría o todas sus hojas.

Fuente: Adaptación con base en Souter et al (2010), usado por la guía de uso de i-tree design V.6.

3.1.3 Estimación de captura de CO₂ de los parques de Tijuana

Para conocer cuánto se capturaba por parque se añadió a la hoja de campo, (Anexo 3) una columna de captura de CO₂ para tener ordenada y detallada la información y conocer cuánto CO₂ en total capturó la muestra representativa de los 54 parques en el 2015.

Para estimar la captura de CO₂ de todos los parques de Tijuana, primero se estimó cuantos Kg de CO₂/m² fueron capturados en el 2015 con los datos de la muestra representativa y conocer la superficie total de los arboles y cuanto de esta era la superficie arbolada (m² de arbolado).

Para estimar la captura anual de CO₂ primero fue necesario conocer el total de CO₂ capturado por la muestra representativa de parques en el 2015 (dato obtenido en el apartado anterior)(sumatoria de todos los arboles), para después dividirlo entre la superficie arbolada (únicamente superficie de cobertura arbórea de los 54 parques en función del porcentaje observado en campo).

Con la herramienta “*calculate geometry –Area*” (en m²) del programa Arc Map 10.3.1 se calculó el área de cada uno de los parques y la superficie área arbolada de acuerdo a las categorías de porcentaje de cobertura.

3.2. Estimación de las emisiones del transporte

Las estimaciones de las emisiones de CO₂ provenientes del transporte se obtuvieron siguiendo las directrices del IPCC, (IPCC, 2006).

Las emisiones se calcularon a partir de la cantidad y tipo de combustible quemado (considerado igual al consumible vendido) y su contenido de carbono.

Una vez validadas las estadísticas de combustible, se seleccionó el método a usar (nivel 1 o 2), de acuerdo al "*árbol de decisión para emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustible en los vehículos terrestres*" (IPCC, 2006).

En este trabajo se usó el método del Nivel 2. Los pasos necesarios para llevar a cabo estas estimaciones fueron los siguientes*:

1. Obtener la ventas de combustible en el periodo 2015 para cada tipo de combustible (Magna, Premium y Diésel)
2. Determinar la cantidad de combustible consumido por tipo de combustible para el transporte terrestre, con datos nacionales en Tera julios (TJ)². Para ello fue necesario primero convertir el consumo de combustible en masa (toneladas) (formula 1, cuadro 2) para después multiplicarlo por el poder calorífico neto (formula 2, cuadro 2) y con ello obtener el consumo de cada tipo de combustible (Magna, Premium y Diésel) en TJ.
3. Para cada tipo de combustible, se multiplicó la cantidad de combustible consumido (TJ) por los factores de emisión de CO₂.
4. Se sumaron las emisiones CO₂ de cada tipo de combustible

² Tera Julios: unidad derivada del Sistema Internacional utilizada para medir energía.

*Se hicieron la conversión de unidades originales a las unidades necesarias.

Cuadro 2. Fórmulas para estimación de emisiones de GEI por la combustión de energéticos

N°	Formula	Variables
1	<i>Consumo de combustible en masa</i> $C_c = \frac{V_c \cdot D_c}{1000}$	C_c = consumo de combustible en masa (Ton.) V_c = venta por tipo de combustible (m ³ .) D_c = Densidad del tipo de combustible (Kg/m ³)
2	<i>Consumo energético</i> $C_f = C_c \cdot PCN$	C_f = consumo del energético “ f ” (TJ) C_c = consumo de combustible en masa (Ton.) PCN = Poder Calorífico Neto (TJ/Ton.)
3	<i>Emisiones de CO₂</i> $E = \sum_a [Combustible_a \cdot EF_a]$	E = Emisiones de CO ₂ (kg) Combustible _a = combustible vendido (TJ) EF _a = factor de emisión (kg/TJ). a = tipo de combustible (gasolina, diésel, gas natural, GLP, etc.)
4	<i>Emisiones de nivel 1 de CH₄ y N₂O</i> $E = \sum_a [Combustible_a \cdot EF_a]$	Emisiones = emisión en kg EF _a = factor de emisión (kg/TJ) Combustible _a = combustible consumido, (TJ) (representado por el combustible vendido) a = tipo de combustible a (diésel, gasolina, gas natural, GLP)
5	<i>Emisiones de CO_{2e}</i> $E^c = \sum_{g=1}^G E_g^c \cdot FC_g$	E^c = emisiones de CO _{2e} por combustión en el sector energético (kg de CO _{2e}) E_g^c = emisiones totales de GEI “ g ” (kg) FC_g = factor de conversión s CO _{2e} para GEI “ g ” (kg de CO _{2e} / kg de GEI).

Fuentes: Elaboración propia con base en IPCC, 2006 y CONUEE, 2009.

*Se hicieron la conversión de unidades de los datos a las unidades necesarias.

La elección para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O dentro de los métodos que existen depende de la información con la que se cuente (IPCC, 2006), optando por el Nivel 1 debido a que no se tienen factores de emisión específicos, por lo que se tomaron los del IPCC del 2006.

Una vez seleccionado el Método de Nivel 1 del árbol de decisiones para estimar el CH₄ y N₂O de los vehículos terrestres se usó la fórmula 4 (Cuadro 2) siguiendo los siguientes pasos:

1. Determinar la cantidad de combustible consumido por tipo de combustible (gasolinas y diésel) para el transporte terrestre, mediante datos nacionales o, como alternativa, fuentes de datos internacionales del IPCC (todos los valores en Tera julios).
2. Para cada tipo de combustible (gasolinas y diésel), multiplicar la cantidad de combustible consumido por los factores de emisión por defecto de CH₄ y N₂O adecuados.
3. Las emisiones de cada contaminante se suman en todos los tipos de combustible (Gasolinas y Diésel).

3.2.1 Conversión a CO₂e

Para poder estimar las emisiones de los tres GEI del sector transporte en la misma unidad fue necesario convertir los resultados de emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O (en kg de cada GEI) a kg de CO₂e por medio de la ecuación “Emisiones de CO₂e” (Formula 5 del Cuadro 2).

3.3. Escenarios posibles para la captura de CO₂ por el arbolado urbano

Para la elaboración de escenarios de acuerdo a la superficie y porcentaje de vegetación en las áreas verdes se realizaron diversas operaciones (Cuadro 3) de acuerdo al objetivo de cada uno, con la finalidad de explorar una gama de posibilidades que podrían, para maximizar el potencial de captura de carbono de la vegetación urbana en Tijuana.

Cuadro 3. Escenarios de mitigación de CO₂ por tipo de área verde

	Contenido de cada escenario	Fórmula	Donde
Escenarios	1 Total de parques ³ (Heber y Ojeda, 2014).	CO ₂ capturado = CV·CC	CV = Superficie de arbolado (en m ²). CC = Promedio de captura de CO ₂ por m ² de superficie arbórea (en Kg CO ₂ /m ²).
	2 Total de parques ³ con 87.5% de cobertura arbórea.		
	3 Total de áreas verdes ⁴ -áreas verdes, parques, camellones, glorietas, gazas, isletas, reservas ecológicas y taludes- (IMPLAN, 2014) con 87.5% de cobertura arbórea.		
	4 Hipotética con parámetro de Sedesol: 4m ² /habitante (Sedesol, 1999) ⁵ .	CO ₂ capturado = (P·RAV)·CC	P (población) = 1`696,430 habitantes (COPLADE, 2014) RAV= Recomendación de m ² de área verde/ habitante
	5 Hipotética con parámetro de la OMS: 10 m ² /habitante (Sedesol, 2010) ⁵		
	6 Hipotética con parámetro de la ONU: 16 m ² /habitante (Sedesol,2010) ⁵ .		

Fuente:Elaboracion propia.

³ Base de datos publicados de 240 parques.

⁴ Base de datos de Implan, imágenes de Google map e Inegi 2016 y trabajo de campo.

⁵ Tomando en cuenta el promedio de captura de CO₂ por metro cuadrado y porcentaje de cobertura arbórea arrojado por el muestreo de los 54 parques en este trabajo.

CAPÍTULO IV. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Captura de CO₂

4.1.1 Muestra representativa

Para seleccionar los parques se realizó un muestreo aleatorio estratificado, con un 90% de confiabilidad y un error permitido del 10%; lo que permitió una mayor representatividad del universo de parques en Tijuana (240), ya que considero todos los parques tomando en cuenta las particularidades de cada estrato. Para determinar el tamaño de la muestra se aplicó la fórmula para muestras finitas (señalizada en la Ecuación 1) y se obtuvo que el número de parques adecuado fue de 53; por lo que para reducir la incertidumbre se consideraron 54 parques.

Posteriormente, con el fin de que hubiera una representatividad de los parques en las diversas delegaciones que conforman la zona urbana de Tijuana y los diferentes porcentajes de cobertura arbórea en los parques, se realizó una agrupación por ubicación geográfica (delegación) y clase (porcentaje) de cobertura vegetal. El numero de parques seleccionados a muestrear según estos dos parámetros: Delegacion y Porcentaje de cobertura arborea se presenta en el Cuadro 4, Mapa 2, La muestra de parques obtenida es representativa del total de parques registrados en todas las delegaciones y el porcentaje de cobertura arbórea reportado para cada parque (Huizar, 2012).

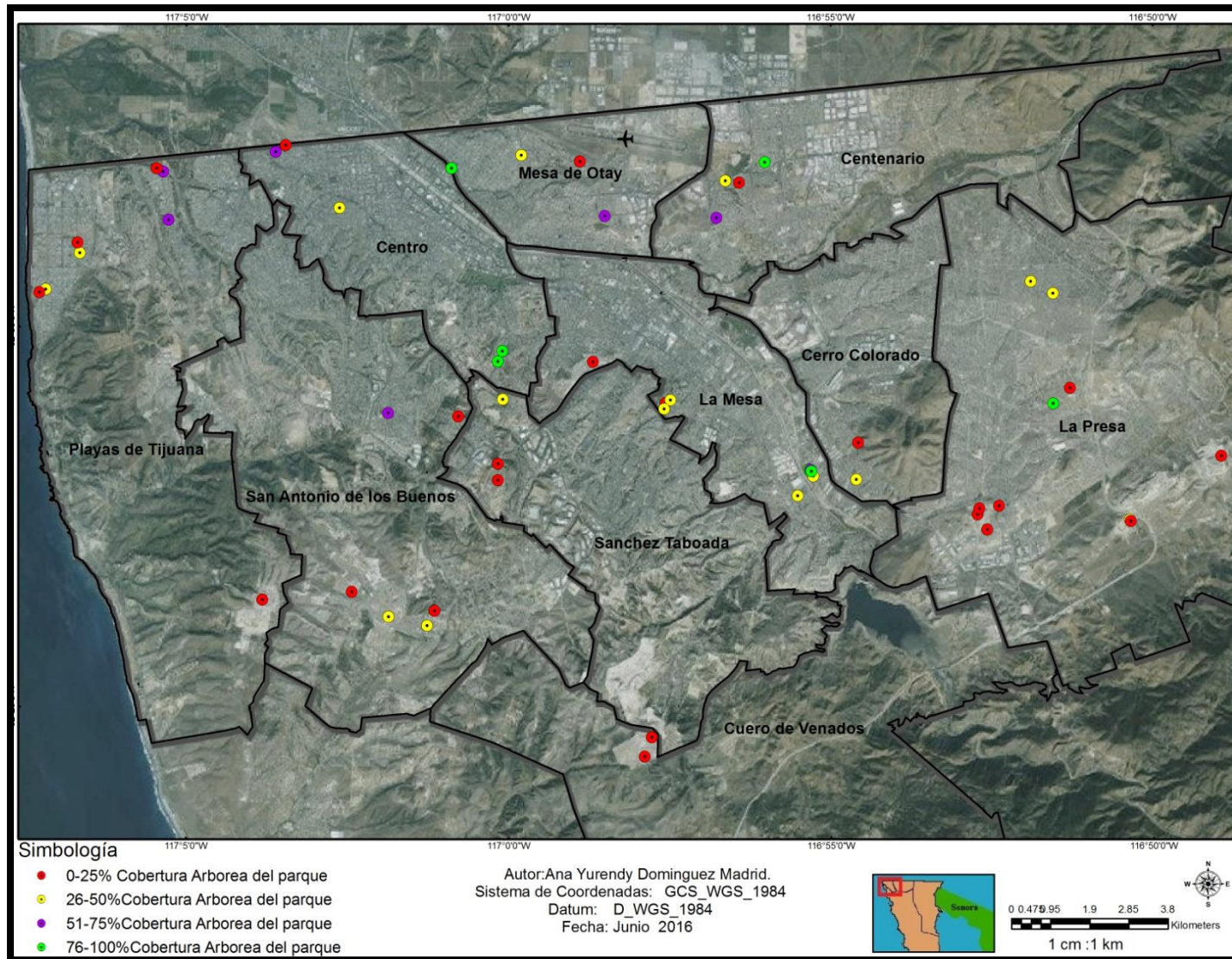
Cuadro 4. Muestra representativa de parques por delegación y porcentaje de cobertura vegetal.

Delegación	% de cobertura vegetal	Nº parques por estrato	% parques por estrato	Nº parques a muestrear
Centenario	0-25	6	3%	1
Centenario	26-50	6	3%	1
Centenario	51-75	4	2%	1
Centenario	76-100	3	1%	1
Centro	0-25	3	1%	1
Centro	26-50	4	2%	1
Centro	51-75	4	2%	1
Centro	76-100	10	4%	2
Cerro Colorado	0-25	4	2%	1
Cerro Colorado	26-50	3	1%	1
Cerro Colorado	51-75	2	1%	0
Cerro Colorado	76-100	2	1%	0
Cuero de Venado	0-25	8	3%	2
Cuero de Venado	26-50	1	0%	0
Cuero de Venado	51-75	0	0%	0
Cuero de Venado	76-100	0	0%	0
La Mesa	0-25	9	4%	2
La Mesa	26-50	18	8%	4
La Mesa	51-75	5	2%	1
La Mesa	76-100	8	3%	2
La Presa	0-25	30	13%	7
La Presa	26-50	14	6%	3
La Presa	51-75	2	1%	0
La Presa	76-100	3	1%	1
Mesa de Otay	0-25	3	1%	1
Mesa de Otay	26-50	4	2%	1
Mesa de Otay	51-75	6	3%	1
Mesa de Otay	76-100	6	3%	1
Playas de Tijuana	0-25	16	7%	4
Playas de Tijuana	26-50	7	3%	2
Playas de Tijuana	51-75	11	5%	2
Playas de Tijuana	76-100	0	0%	0
Sánchez Taboada	0-25	7	3%	2
Sánchez Taboada	26-50	5	2%	1
Sánchez Taboada	51-75	0	0%	0
Sánchez Taboada	76-100	1	0%	0
San Antonio de los Buenos	0-25	13	5%	3
San Antonio de los Buenos	26-50	9	4%	2
San Antonio de los Buenos	51-75	3	1%	1
San Antonio de los Buenos	76-100	0	0%	0
		240	100%	53

→ 54

Fuente: Elaboracion propia.

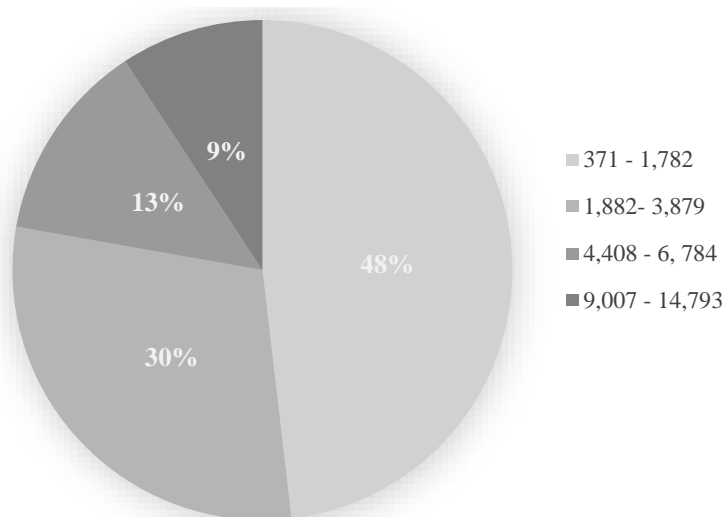
Mapa 2. Ubicación de los 54 Parques muestreados para la estimación de la captura de CO₂ en Tijuana



4.1.2 Parques muestreados e inventario de árboles

La superficie total de los 54 parques muestreados fue de 167,322m². Su tamaño varió desde 371 m² hasta 14,792m². Al clasificar la superficie de los parques, usando el método de Jenks⁶(ArcGIS Pro, 2016), se encontró que más de tres cuartas partes tienen un tamaño menor a 4,000 m² (Grafica 1).

Grafica 1. Porcentaje de parques muestreados según rango de superficie (m²)



Fuente: elaboración propia

Ahora bien mas de la mitad de los parques muestreados se encuentran en condiciones favorables: en excelentes (16.7%) o buenas condiciones (42.6%) en cuanto a sus infraestructura (juegos, bancas, caminos, iluminación, riego, basura, mantenimiento de la infraestructura) y por el contrario el 18.5% presentan un estado regular, y el resto tiene mala (14.8%) o pésima condición (7.4%) y dan un mal aspecto visual.

⁶ Método de Jenks: Clasificación que se basa en el algoritmo de rupturas naturales de Jenks. Los cortes de clase agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Las entidades se dividen en clases cuyos límites quedan establecidos donde hay diferencias considerables entre los valores de los datos.

El estado de la vegetación en la mayoría de los parques es excelente o buena (13 y 48%), 20% presenta un estado regular, 17% de ellos malo y 2% pésimo (Cuadro 6).

Solo 42% de la superficie total (16.7 Hectáreas) de los parques muestreados (54 parques) presenta una cubierta arbórea, el resto se encuentra con infraestructura o suelo descubierto.

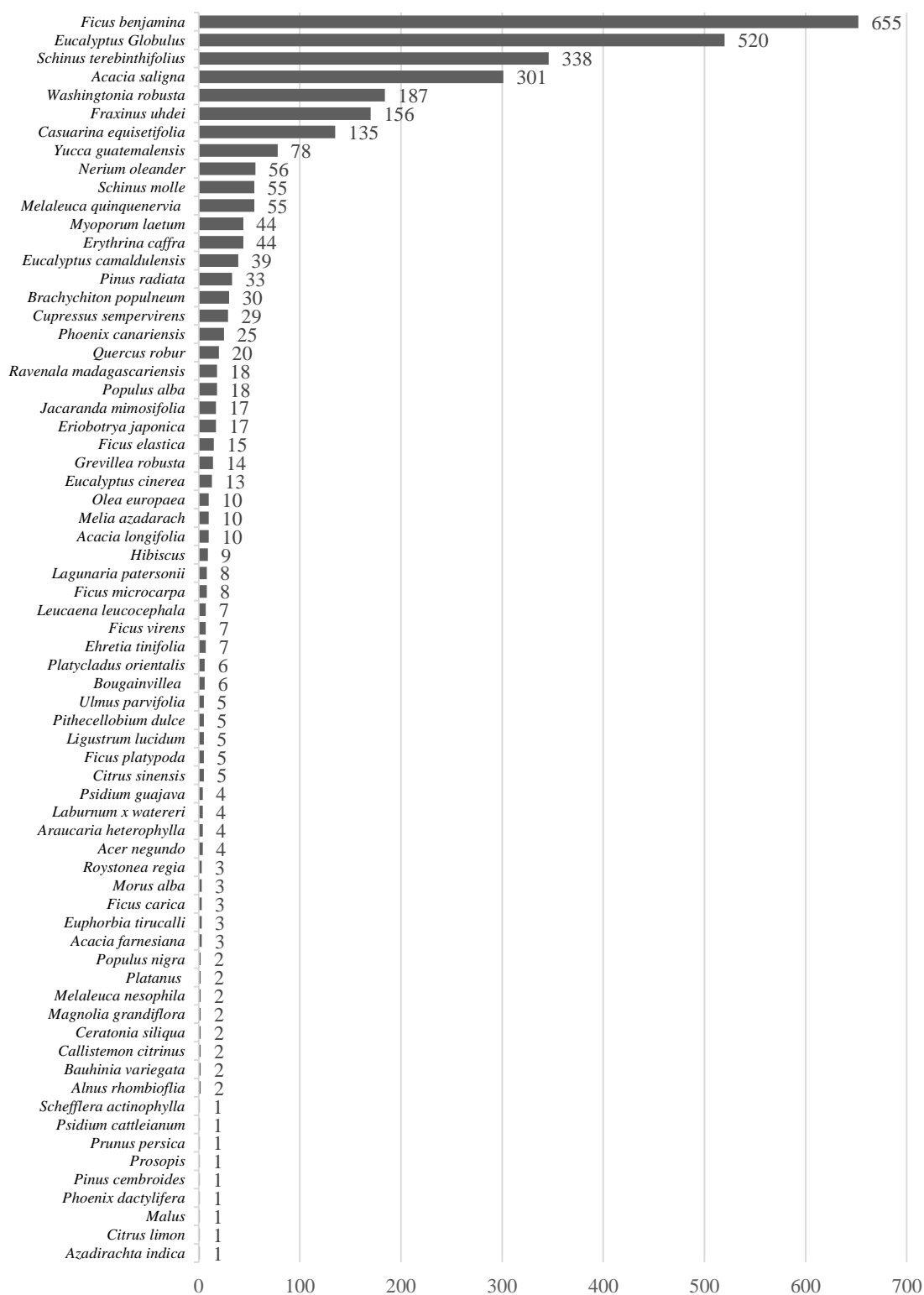
El estado de la vegetación, no depende de la localización del parque, ya que dentro de una misma delegación hay parques en excelentes y pésimas condiciones, esto más bien podría depender de la administración particular de cada parque.

En los parques muestreados se registraron un total de 3,097 individuos⁷, pertenecientes a 68 especies (cuadro 5), lo que supera el número de especies reportadas por Álvarez en 1996 y en 2015 por el vivero municipal (Anexos 4 y 5). Cabe mencionar que muy pocas especies son nativas de México como es el caso del Izote o la Yuca; el Colorín y la Palma Abanico y ni una es nativa de la región florística en la que se encuentra Tijuana.

La abundancia de cada especie varió mucho. Entre las más abundantes, resaltan en orden descendente *Ficus benjamina* (21% del total), *Eucaliptus sp.* (17.7%), *Schinus terebinthifolius* (11.5%), *Acacia saligna* (10.2%), *Washingtonia robusta* (5.8%), *Fraxinus uhdei* (5.3%), *Casuarina equisetifolia* (4.3%) y *Yucca guatemalensis* (2.5%) y (Grafica 2). Por el contrario, 31 especies (54%) cuentan solo con uno o cinco individuos, la dominancia de unas pocas especies, puede deberse a que fueron parte de una moda hace años (plantados de acuerdo a los gustos de la población) o por su disponibilidad en los viveros (como parte de un programa de reforestación gubernamental).

⁷ sin contabilizar los árboles menores a 1.30 cm de altura

Grafica 2. Abundancia de especie en los parques muestreados



Fuente: Elaboración propia

Distribución de especies por delegación

La distribución de especies por delegación también varió mucho. Desde unas cuantas presentes en todas o casi todas las delegaciones (*Acacia saligna*, *Schinus terebentifolius*, *Ficus benjamina*, *Washingtonia robusta* y *Yucca guatemalensis*), hasta muchas con pocos individuos presentes solo en una delegación (Cuadro 5). Se infiere que la presencia de estas últimas, se puede atribuir a que fueron plantadas por vecinos del parque (información recaba en campo) y no por un programa de reforestación de gobierno. Por ejemplo, el género *Eucalyptus*, está presente en todas las delegaciones, excepto Cueros de Venado y San Antonio de los Buenos (Cuadro 5), tal vez porque ya no es muy utilizada para reforestar y estas delegaciones son de más reciente desarrollo.

Cuadro 5. Especies presentes en los parques muestreados por delegación

Nombre científico	Nombre común	Localización									
		C	CE	CC	CV	M	MO	SAB	ST	PT	LP
<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache										3
<i>Acacia longifolia</i>	Acacia		1	1							8
<i>Acacia saligna</i>	Acacia	10	21	9	12	11	16	12	16	78	116
<i>Acer negundo</i>	Arce	2				2					
<i>Alnus rhombifolia</i>	Aile	2									
<i>Araucaria heterophylla</i>	Pino estrella		1							2	1
<i>Azadirachta indica</i>	Neem					1					
<i>Bauhinia variegata</i>	Pata de vaca								1	1	
<i>Bougainvillea</i>	Bugambilia	1					5				
<i>Brachycton populneum</i>	Brachynton		20			2	1		5	2	
<i>Callistemon citrinus</i>	Cepillo rojo	1								1	
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Pino Casuarina	4	3	2		7	2		1	33	83
<i>Ceratonia siliqua</i>	Algarrobo										2
<i>Citrus limon</i>	Limón					1					
<i>Citrus sinensis</i>	Naranja		1	1		2	1				
<i>Cupressus sempervirens</i>	Ciprés	2	12				3		5	2	5
<i>Ehretia tinifolia</i>	Mandimbo					3				4	
<i>Eriobotrya japonica</i>	Níspero	1	1			2	9			1	3
<i>Erythrina caffra*</i>	Colorín		1			9		1	3	25	5
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto rojo	6	6			9	2				16
<i>Eucalyptus cinerea</i>	Eucalipto dollar			2						4	3
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto blanco	5		13		55	20		34	322	71
<i>Euphorbia tirucalli</i>	Dedito					3					
<i>Ficus benjamina</i>	Benjamina	166	6		16	84	19	51	66	72	175
<i>Ficus carica</i>	Higuera		1				2				
<i>Ficus elastica</i>	Hule	3	1			2	2			7	
<i>Ficus microcarpa</i>	Laurel de la india	2				1					5
<i>Ficus platypoda</i>	Higo del desierto	5									
<i>Ficus virens</i>	Virens	7									
<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno	39	18	2		2	14	2		67	12
<i>Grevillea robusta</i>	Roble australiano	5				4	3				2
<i>Hibiscus</i>	Obelisco	1	4			2				1	1
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda		7			3	1				6
<i>Laburnum x watereri</i>	lluvia de oro	2				1					1
<i>Lagunaria patersonii</i>	Lagunaria			1		2				5	
<i>Leucaena leucocephala</i>	Guaje		1			1					5
<i>Ligustrum lucidum</i>	Trueno	1				4					
<i>Magnolia grandiflora</i>	Magnolia	1				1					
<i>Malus</i>	Manzano					1					
<i>Melaleuca nesophila</i>	Hoja de papel									2	
<i>Melaleuca quinquenervia</i>	Melaleuca	23				6	20			6	
<i>Melia azadarach</i>	Árbol paraíso	4		2		4					
<i>Morus alba</i>	Mora					2				1	
<i>Myoporum laetum</i>	Maiporum		3			8				29	4
<i>Nerium oleander</i>	Rosa laurel	7	1			10	1			2	35
<i>Olea europaea</i>	Olivo	2				5	1		2		
<i>Phoenix canariensis</i>	Palma canaria	5	1					1	6	5	7
<i>Phoenix dactylifera</i>	Palma larga	1									
<i>Pinus cembroides</i>	Pino piñonero									1	
<i>Pinus radiata</i>	Pino común	9			6		9		2	7	

<i>Pithecellobium dulce</i>	Guamúchil					5					
<i>Platanus</i>	Aliso					2					
<i>Platyclusus orientalis</i>	Pino arbusto		6								
<i>Populus alba</i>	Álamo blanco	4				2					12
<i>Populus nigra</i>	Álamo negro		1							1	
<i>Prosopis</i>	Mezquite					1					
<i>Prunus persica</i>	Durazno										1
<i>Psidium cattleianum</i>	Guayabo fresa									1	
<i>Psidium guajava</i>	Guayabo		1			2					1
<i>Quercus robur</i>	Encino		10				6		1	2	1
<i>Ravenala madagascariensis</i>	Palma viajero	8	2			4		3			1
<i>Roystonea regia</i>	Palma caribeña	1								2	
<i>Schefflera actinophylla</i>	Pulpo		1								
<i>Schinus molle</i>	Pirul california	12	2	15	1	13		1		5	6
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Pirul brasileño	18	44	5	2	74	33	1	26	106	29
<i>Ulmus parvifolia</i>	Olmo chino	2					1				2
<i>Washingtonia robusta</i>	Palma abanico	27	24		6	19	5	24	2	35	45
<i>Yucca guatemalensis</i>	Izote	3	5	2		5	4	1	1	55	2

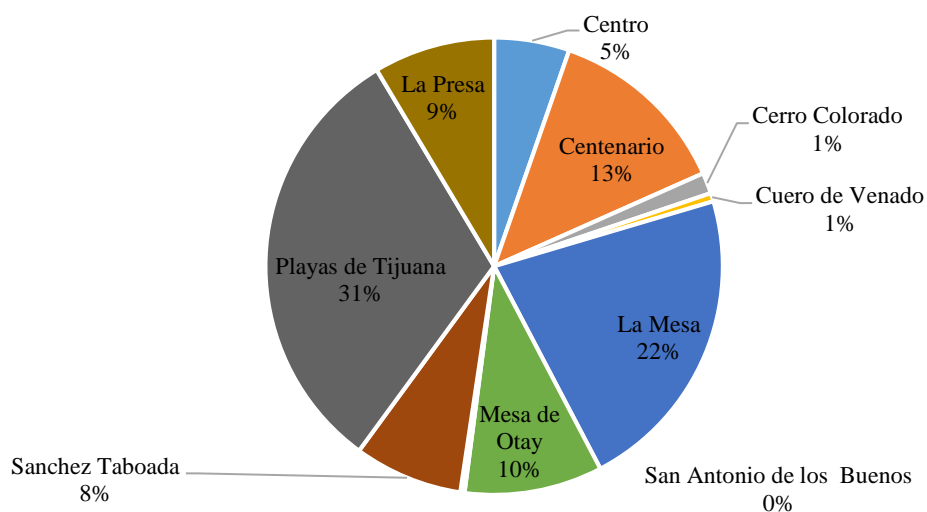
Delegaciones: C=Centro; CE=Centenario; CC=Cerro Colorado; CV=Cueros de Venado; M=La Mesa; MO=Mesa de Otay; SAB=San Antonio de los Buenos; ST=Sánchez Taboada; PT=Playas de Tijuana; LP=La Presa.

Fuente: Elaboración propia.

Si se considera solo a las 12 especie más abundantes se observa que: *Schinus terebinthifolius* y *Acacia saligna* tienen una distribución en todas las delegaciones, la primeras un poco más acentuada en Playas de Tijuana y la segunda en La Presa. *Ficus benjamina* y *Washingtonia*, están presentes en nueve de las delegaciones, pero ambas tienen mayor presencia en la delegación de La Presa. Aunque *Eucalyptus globulus* se distribuye en ocho delegaciones su abundancia es muy desigual, ya que tiene una alta presencia en Playas de Tijuana (62 %), seguido de La Presa (14%) y La Mesa (11%) pero esta poco presente en Centro, Cerro Colorado y Mesa de Otay (Cuadro 5).

La especie con mejor representatividad geográfica fue *Schinus terebinthifolius* (Cuadro 5) que se encuentra con al menos un individuo en cada una de las delegaciones, que aunque concentra 53% de su población en dos delegaciones, otro 45% se encuentra en cinco delegaciones y 2% en las delegaciones de Cerro Colorado y Cuero de Venado y solo un individuo en la delegación de San Antonio de los Buenos (Grafica 3).

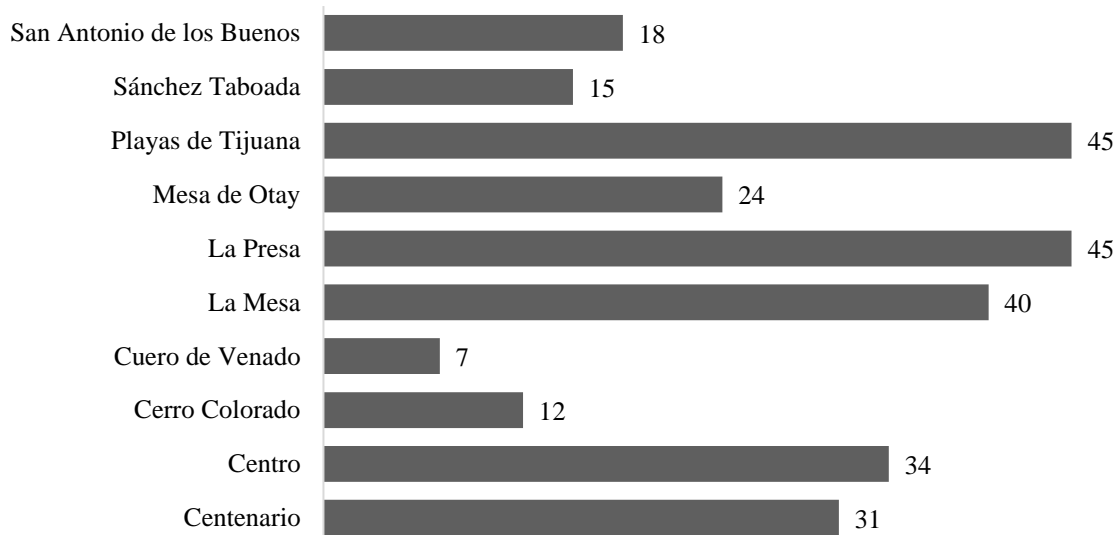
Grafica 3. Abundancia de *Schinus terebinthifolius* por delegación.



Fuente: Elaboración propia con datos del inventario.

Las delegaciones que presentaron mayor variedad de especies fueron La Presa y Playas de Tijuana con 45 especies, mientras que Cuero de Venado solo presentó siete. Existe un ligero patrón en la población de especies, ya que la distribución del $\pm 50\%$ de ellas se concentra en dos delegaciones (Grafica 4).

Grafica 4. Numero de especies de parques muestreados por Delegación



Fuente: elaboración propia

El número de especies por parque fue muy variado. Algunos parques presentaron 24 especies y otros solo una (particularmente aquellos dentro de fraccionamientos o colonias nuevas al sur y sureste de Tijuana). En resumen, 31% de los parques tienen de 1 a 5 especies, 37% de 6 a 10, 19% de 11 a 15 y únicamente 13% tiene una variedad de entre 16 y 24 especies (Cuadro 6).

Los parques con mayor variedad de especies se caracterizan por tener el mantenimiento a cargo de un jardinero o de los vecinos. Los vecinos de algunos parques se acercaron durante el trabajo de campo e informaron que estaban completamente involucrados en su cuidado y que en algunos casos se habían encargado de la forestación del parque.

Cuadro 6. Superficie, calidad, y especies e individuos por parques muestreado.

Núm. parque	Delegación	Superficie (m ²)	Superficie arbórea (m ²)	Estado del parque	Estado de vegetación	% de vegetación total	% de pasto	% de arboles	% arbustos	% de construcción total	% de juegos	Total especies	Total árboles
1	M	3,370	2,527	r	r	60	25	75	10	40	20	10	68
2	P T	6,783	2,035	b	b	40	10	30	20	60	20	13	71
3	C	10,537	2,107	r	b	30	10	20	15	70	5	24	129
4	C	1,600	1,360	e	b	95	95	85	5	5	0	4	26
5	C	9,008	7,206	e	b	80	50	80	10	20	0	10	157
6	M	1,721	1,291	e	e	80	0	75	10	20	15	17	66
7	M	383	192	b	b	65	0	50	15	35	15	9	20
8	M	371	334	b	b	90	0	90	10	10	5	15	22
9	M	572	429	r	r	75	0	75	5	25	0	8	20
10	LP	5,424	2,712	b	b	50	10	50	10	50	30	18	122
11	LP	14,793	10,355	b	b	70	50	70	15	30	15	19	227
12	LP	6,404	1,281	r	r	40	5	20	10	60	15	6	44
13	LP	2,547	1,910	b	b	75	0	75	10	25	0	8	116
14	M	2,337	1,402	b	b	70	0	60	5	30	0	14	85
15	M	1,506	903	b	b	60	0	60	20	0	0	11	27
16	M	770	616	b	b	80	0	80	20	0	0	10	15
17	LP	801	40	p	m	40	30	5	5	0	0	2	4
18	LP	1,252	376	b	b	30	30	30	10	70	10	8	17
19	LP	1,344	336	e	e	50	80	25	20	50	20	4	11
20	LP	1,908	477	b	e	90	80	25	10	10	20	11	28
21	CC	5,236	1,047	p	m	25	0	20	5	40	15	11	34
22	CC	1,584	79	m	r	30	0	5	5	60	15	6	21
23	LP	2,229	1,003	e	e	75	25	45	10	25	10	5	81
24	LP	1,477	443	e	e	40	15	30	5	60	0	1	20
25	C	3,879	2,715	b	b	90	2	70	10	10	15	15	55
26	C	1,166	932	p	m	80	2	80	30	20	20	8	19
27	MO	1,218	853	m	r	80	60	70	30	10	0	7	50

Núm. parque	Delegación	Superficie (m ²)	Superficie arbórea (m ²)	Estado del parque	Estado de vegetación	% de vegetación total	% de pasto	% de arboles	% arbustos	% de construcción total	% de juegos	Total especies	Total árboles
28	MO	2,357	353	b	b	30	10	15	10	70	10	20	71
29	MO	2,362	1,654	r	b	70	90	70	1	30	0	9	45
30	M	1,882	1,129	r	r	25	65	60	15	40	25	4	61
31	SAB	1,309	65	m	m	5	0	5	0	95	0	3	3
32	ST	1,444	722	m	m	40	0	50	10	60	35	8	67
33	MO	1,228	123	b	b	10	0	10	2	90	0	6	14
34	P T	2,277	455	m	p	35	10	20	5	65	10	6	40
35	P T	729	437	m	r	70	0	60	15	30	30	8	45
36	P T	2,213	996	b	b	60	10	45	15	40	10	15	100
37	P T	2,275	1,365	e	b	70	40	60	30	30	30	14	72
38	P T	4,465	2,679	e	e	75	50	60	15	25	15	19	436
39	P T	12,913	3,874	b	b	70	90	30	20	25	10	10	62
40	LP	1,000	50	r	r	10	30	5	5	70	10	3	4
41	CE	1,250	750	b	e	70	85	60	20	0	0	18	66
42	CE	2,662	532	b	b	25	20	20	15	75	0	14	69
43	CE	1,556	233	b	b	20	70	15	15	80	0	4	14
44	CE	1,203	1,023	b	m	95	75	85	5	5	0	7	58
45	P T	3,575	894	p	m	35	30	25	10	60	25	10	69
46	SAB	1,481	148	m	m	24	75	10	10	5	0	3	7
47	SAB	1,781	445	m	m	40	50	25	20	20	20	4	24
48	SAB	2,103	421	b	b	25	75	20	15	40	20	3	35
49	SAB	456	23	e	b	75	75	5	10	25	25	1	2
50	SAB	4,408	1,763	b	b	40	20	40	10	60	10	5	26
51	ST	1,650	165	r	r	10	15	10	5	5	0	4	16
52	ST	10,835	6,501	b	b	60	60	60	10	40	20	7	88
53	C V	5,257	1,051	r	r	20	40	20	5	50	20	4	22
54	C V	2,429	486	r	r	60	30	20	15	40	25	5	26

Delegaciones: C= Centro; CE= Centenario; CC= Cerro Colorado; CV= Cueros de Venado; M= La Mesa; MO= Mesa de Otay; SAB= San Antonio de los Buenos; ST= Sánchez Taboada; PT= Playas de Tijuana; LP= La presa. Valores estado de la vegetación y del parque p= pésimo; m= malo; r= regular; b=bueno; e= excelente.

4.1.3 Adecuación de información para el Software i-tree design

Haciendo uso del nombre común de las especies, para cada individuo se localizó el código postal de San Diego más cercano (Cuadro 7) dato indispensable para el uso del software.

Cuadro 7. Localización de las especies en el software

Nombre científico	Nombre en i-tree	Nombre científico	Nombre en i-tree
<i>Acacia farnesiana</i>	Sweet acacia	<i>Lagunaria patersonii</i>	Primrose tree
<i>Acacia longifolia</i>	Sydney golden wattle	<i>Leucaena leucocephala</i>	Koa haole
<i>Acacia saligna</i>	Orange wattle	<i>Ligustrum lucidum</i>	Chinese privet
<i>Acer negundo</i>	Boxelder	<i>Magnolia grandiflora</i>	Southern magnolia
<i>Alnus rhombioflia</i>	Alder white	<i>Malus</i>	Apple spp.
<i>Araucaria heterophylla</i>	Norfolk island pine	<i>Melaleuca nesophila</i>	Pink melaleuca
<i>Azadirachta indica</i>	Neem tree	<i>Melaleuca quinquenervia</i>	Paper bark
<i>Bauhinia variegata</i>	Variegated orchide tree	<i>Melia azadarach</i>	Pride of India
<i>Bougainvillea</i>	Bougainvillea	<i>Morus alba</i>	White Mulberry
<i>Brachychiton populneum</i>	Bottle tree	<i>Myoporum laetum</i>	Mioporo
<i>Callistemon citrinus</i>	Crimson bottlebrush	<i>Nerium oleander</i>	Oleander
<i>Casuarina equisetifolia</i>	sheoak river	<i>Olea europaea</i>	Olive
<i>Ceratonia siliqua</i>	Kelakid	<i>Phoenix canariensis</i>	Canary island date palm
<i>Citrus limon</i>	Lemon	<i>Phoenix dactylifera</i>	Date palm
<i>Citrus sinensis</i>	Kona orange	<i>Pinus cembroides</i>	Mexican pinyon
<i>Cupressus sempervirens</i>	Italian cypress	<i>Pinus radiata</i>	Monterey pine
<i>Ehretia tinifolia</i> **	Knockaway / Koda tree	<i>Pithecellobium dulce</i>	Monkeypod
<i>Eriobotrya japonica</i>	Louquat tree	<i>Platanus</i>	Sycamore spp
<i>Erythrina caffra</i> *	Kaffirboom coral tree	<i>Platycladus orientalis</i>	Oriental arborvitae
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Red gum eucalyptus	<i>Populus alba</i>	White poplar
<i>Eucalyptus cinerea</i>	Silver dollar eucalyptus	<i>Populus nigra</i>	Black poplar
<i>Eucalyptus Globulus</i>	Blue gum eucalyptus	<i>Prosopis</i>	Mesquite spp.
<i>Euphorbia tirucalli</i>	Pencil Tree	<i>Prunus persica</i>	Peach
<i>Ficus benjamina</i>	Benjamin fig	<i>Psidium cattleianum</i>	Strawberry guava
<i>Ficus carica</i>	Common fig	<i>Psidium guajava</i>	Guava
<i>Ficus elastica</i>	Indian rubber tree	<i>Quercus robur</i>	English oak
<i>Ficus microcarpa</i>	Green indian laurel fig	<i>Ravenala madagascariensis</i>	Traveler's Palm
<i>Ficus platypoda</i> **	Desert fig	<i>Roystonea regia</i>	Cuban Royal palm
<i>Fraxinus uhdei</i>	Tropical ash	<i>Schefflera actinophylla</i>	Octopus tree
<i>Ficus virens</i>	Ara	<i>Schinus molle</i>	Peppertree
<i>Grevillea robusta</i>	Silk oak	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Christmas berry
<i>Hibiscus</i>	Hibiscus	<i>Ulmus parvifolia</i>	Chinese elm
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	<i>Washingtonia robusta</i>	Mexican Washingtonia
<i>Laburnum x watereri</i>	Golden chain tree	<i>Yucca guatemalensis</i>	Bluestem yucca

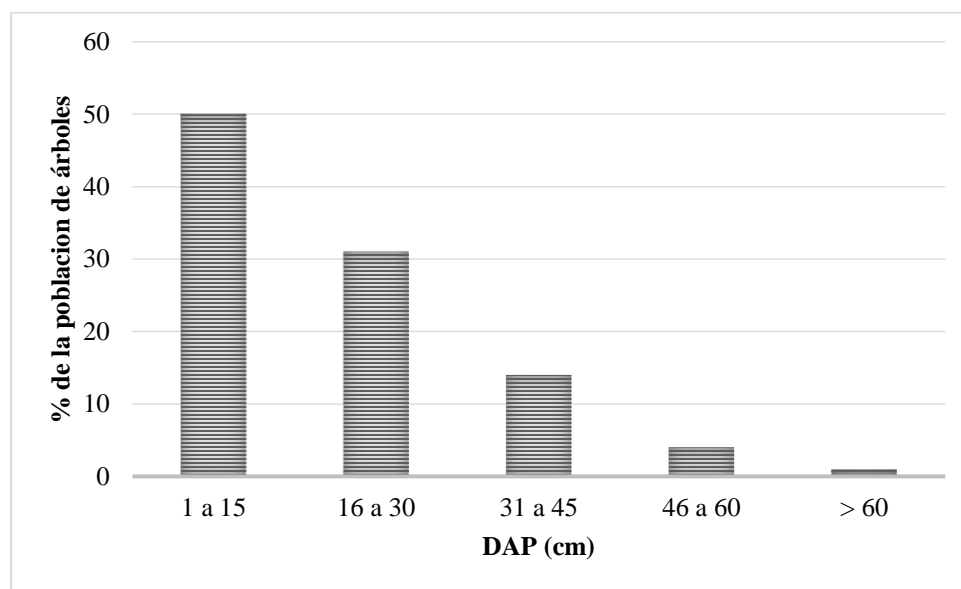
*Para el colorín se consideraron tres especies: *Erythrina caffra*, *E.caralloides*, y *E. lysistemon*, teniendo la misma capacidad de captura de CO₂, **Se consideró como "Specie Unknown".

Fuente:Elaboracion propia, con datos de *i-tree design*.

4.1.4 Estimaciones de captura de CO₂

Las variables de DAP y especie son muy importantes ya que de ellas depende la estimación de su capacidad de captura de carbono por lo que se analizan de manera separada. El 80% de los árboles tiene un DAP menor a los 30 cm, lo que indica que el arbolado es joven y que ha habido programas de forestación en Tijuana recientemente (Gráfica 5).

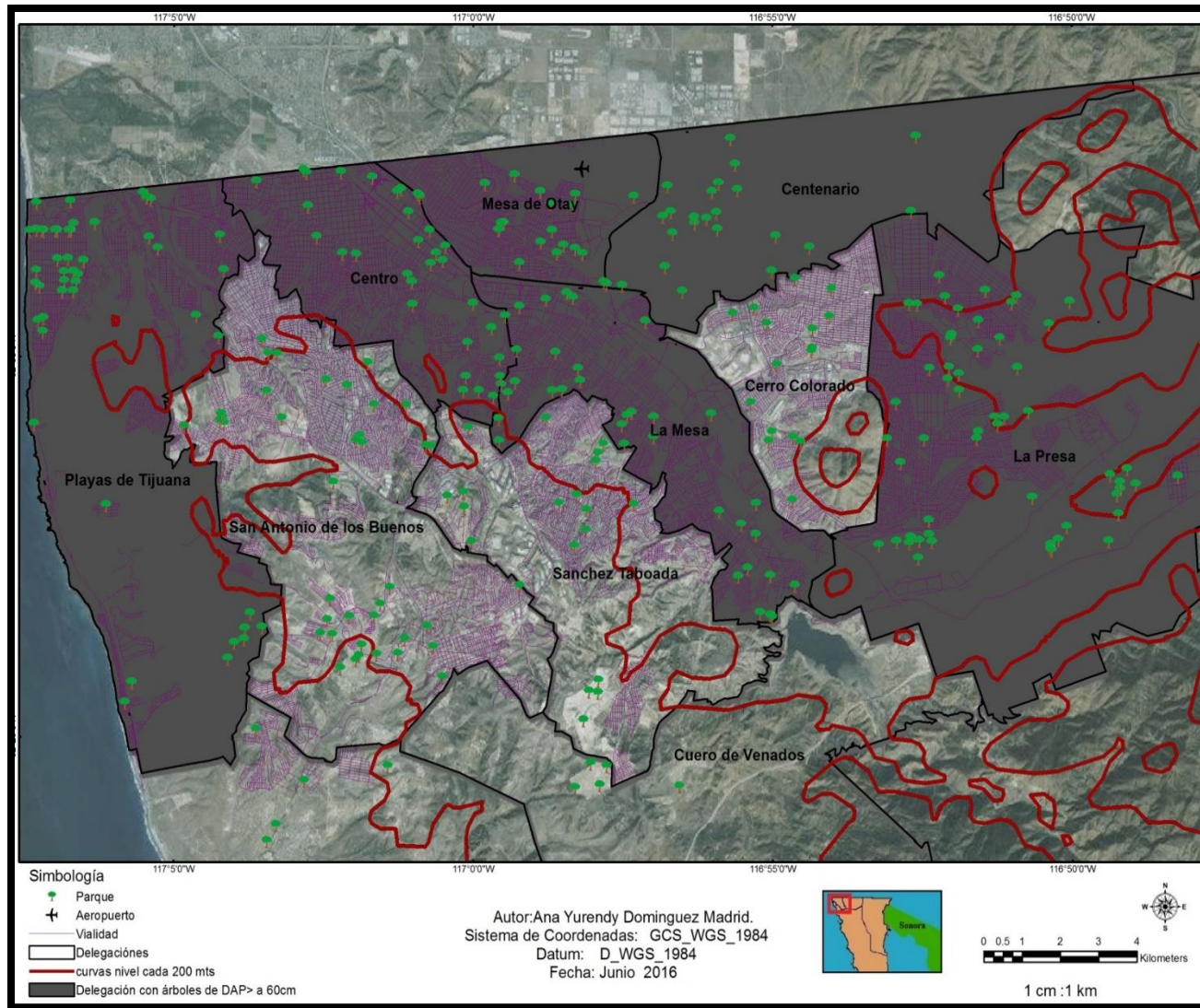
Gráfica 5. Porcentaje de la población de árboles acorde a su DAP (cm).



Fuente: Elaboración propia con datos del inventario.

La distribución de individuos con DAP mayor a 60 cm se concentran en las delegaciones Centro, Centenario, La Mesa, Mesa de Otay; Playas de Tijuana y La Presa, las cuales destacan por ser las más antiguas de Tijuana y con topografía poco accidentada (Mapa 3).

Mapa 3. Delegaciones con DAP >30cm.

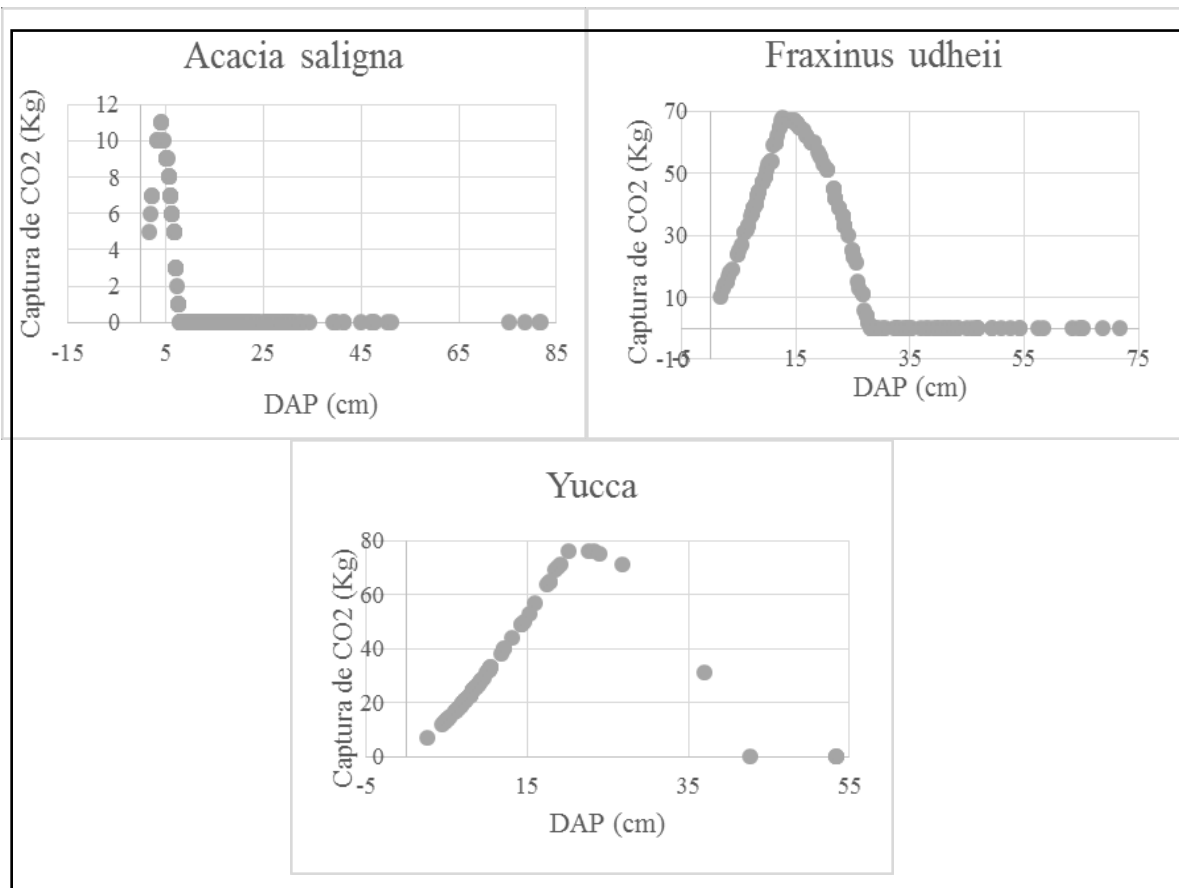


Variación en la captura de CO₂ por especie de acuerdo al DAP

La captura de CO₂ varía de acuerdo a la cantidad de biomasa presente y a su vez al DAP o edad de la especie, y presentan diferentes patrones de captura que pueden ser clasificadas en tres tipos considerando el aumento del DAP como cantidad de Tiempo transcurrido de crecimiento del árbol. De acuerdo a los datos recabados en este trabajo se clasificaron en tres tipos: las que tienen una captura en forma de V invertida, que tienen forma de campana y lineal, como se observa a continuación con algunos ejemplos de las especies inventariadas (Grafica 6 a, 6b y 6c):

- a) Captura de forma ascendente hasta alcanzar su máximo potencial de captura de la especie (esto determinado con su edad o DAP) y luego disminuye de forma drástica su capacidad de captura de CO₂ en muy poco tiempo hasta que deja de capturar por el resto de su vida. Visualizándose con una Forma de V invertida (Grafica 6.a).

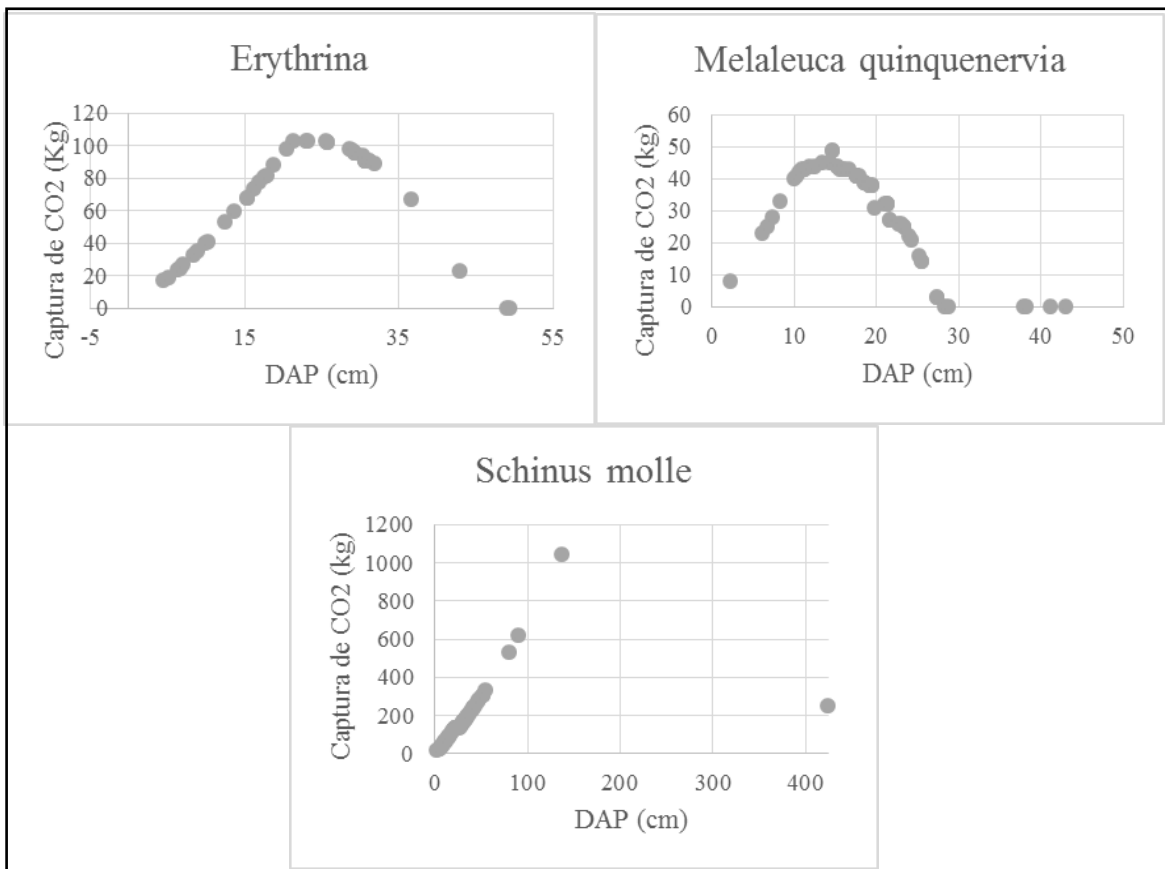
Grafica 6.a. Relaciones entre DAP y Captura de CO₂ de algunas especies durante el 2015.



Fuente:Elaboracion propia , con datos del inventario de este trabajo.

- b) Captura ascendente hasta cierto DAP y después de alcanzar su máximo potencial de captura de CO₂ se mantiene capturando la misma cantidad por un corto tiempo y después comienza a disminuir su capacidad de captura poco a poco, hasta que deja de capturar. (Forma de Campana) (Grafica 6.b).

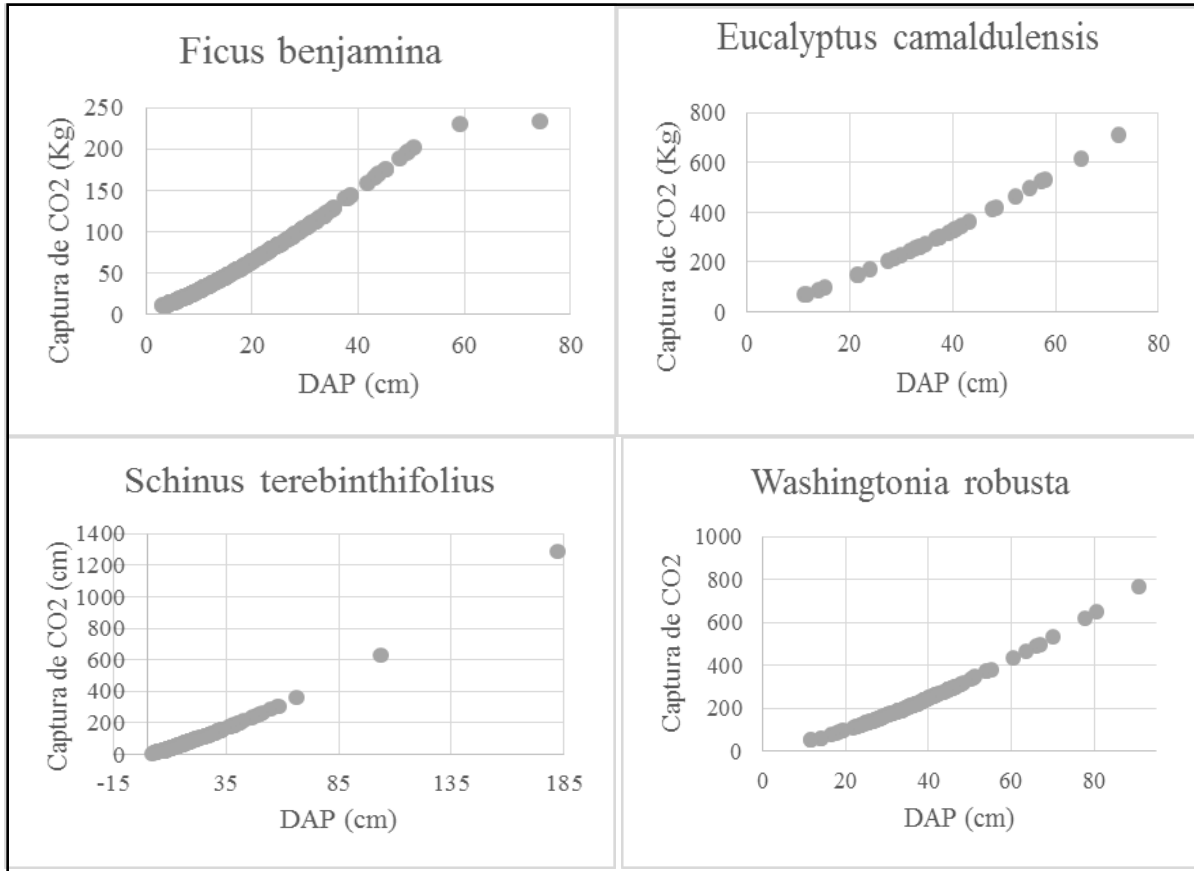
Grafica 6.b. Relaciones entre DAP y Captura de CO₂ de algunas especies durante el 2015.



Fuente:Elaboracion propia , con datos del inventario de este trabajo.

- c) El patrón de Captura de CO₂ es de manera ascendente y gradual mientras aumenta el DAP por un largo tiempo hasta llegar a su punto máximo de capacidad de captura, (Forma lineal)(Grafica 6.c)

Grafica 6.c. Relaciones entre DAP y Captura de CO₂ de algunas especies durante el 2015.



Fuente:Elaboracion propia , con datos del inventario de este trabajo.

En este trabajo de acuerdo a la base de datos recabada de las especies que presentan este patrón con forma lineal, unicamnete se conocio el punto máximo de captura del *Ficus benjamina*, el cual continuo capturando la misma cantidad por un tiempo sin embargo no se logro conocer cuando comienza a disminuir como el resto de las especies que presentaron este patrón. Aclarando que estos patrones son únicamente con los datos del inventario y no se puede hacer ninguna aceveracion debido a que es necesario mas datos y años de estudio al respecto.

Por otra parte hablando del comportamiento de todas las especies en general y la relación de estas con su DAP y la captura de CO₂, sobresale el *Eucalyptus globulus* quien fue la especie que secuestro la mayor parte del CO₂, con 84,374 kg de CO₂ durante el 2015 (Cuadro 8), aun cuando no es la especie con mayor población, pero que debido a su tasa de crecimiento y la densidad de su madera de esta especie, los cuales son aspectos que le permiten acumular más carbono por unidad de volumen

Por su parte, *Ficus benjamina* que concentra el 21% del total de árboles y aunque sus árboles tienen mayor DAP captura la mitad de CO₂ (Kg/año) que el. Por otro lado, *Acacia saligna*, con casi el 10% de la población arbórea, cuyos individuos tiene un DAP promedio cercano al del, únicamente capturó 0.27% del total del 2015 (Cuadro 8).

Ahora bien si sacamos aproximaciones a nivel individuo , por ejemplo un árbol de la especie *Ficus benjamina* y otro de *Eucalyptus globulus* considerando que son dos especies que se encuentran dentro del mismo rango de DAP promedio (31 a 45) (Grafica 5 y cuadro 8), observamos que un árbol de *Eucalyptus globulus* capturo 2.5 veces mas Kg de CO₂ durante el 2015 que un árbol de *Ficus benjamina*.

Cuadro 8. Relación entre captura de carbono, DAP y población por especie.

Especie	CO ₂ capturado (Kg/año)	% de CO ₂ capturado	DAP promedio (cm)	Numero de arboles	% del Total de arboles
<i>Eucalyptus Globulus</i>	84,374	32.06	37	520	16.79
<i>Ficus benjamina</i>	41,657	15.83	43	652	21.05
<i>Washingtonia robusta</i>	40,670	15.46	51	184	5.94
<i>Schinus terebinthifolius</i>	25,730	9.78	30	346	11.17
<i>Casuarina equisetifolia</i>	12,286	4.67	35	135	4.36
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	11,329	4.31	42	39	1.26
<i>Schinus molle</i>	10,045	3.82	69	55	1.78
<i>Fraxinus uhdei</i>	5,196	1.97	37	170	5.49
<i>Erythrina caffra</i>	3,228	1.23	27	44	1.42
<i>Grevillea robusta</i>	3,210	1.22	27	14	0.45
<i>Pinus radiata</i>	3,105	1.18	49	33	1.07
<i>Phoenix canariensis</i>	2,682	1.02	53	25	0.81
<i>Yucca guatemalensis</i>	2,481	0.94	23	78	2.52
<i>Populus alba</i>	1,928	0.73	18	18	0.58
<i>Brachychiton populneum</i>	1,759	0.67	16	30	0.97
<i>Melaleuca quinquenervia</i>	1,622	0.62	23	55	1.78
<i>Melia azadarach</i>	1,205	0.46	21	10	0.32
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	891	0.34	14	17	0.55
<i>Quercus robur</i>	864	0.33	24	20	0.65
<i>Acacia saligna</i>	703	0.27	41	301	9.72
<i>Ficus elastica</i>	623	0.24	25	15	0.48
<i>Ficus virens</i>	571	0.22	27	7	0.23
<i>Ulmus parvifolia</i>	554	0.21	25	5	0.16
<i>Acacia longifolia</i>	523	0.20	21	10	0.32
<i>Eucalyptus cinerea</i>	437	0.17	24	13	0.42
<i>Pithecellobium dulce</i>	424	0.16	9	5	0.16
<i>Alnus rhombioflia</i>	396	0.15	30	2	0.06
<i>Ehretia tinifolia</i>	368	0.14	15	7	0.23
<i>Hibiscus</i>	357	0.14	12	9	0.29
<i>Ficus microcarpa</i>	310	0.12	21	8	0.26
<i>Cupressus sempervirens</i>	290	0.11	21	29	0.94
<i>Eriobotrya japonica</i>	253	0.10	8	17	0.55
<i>Roystonea regia</i>	244	0.09	22	3	0.10
<i>Ficus platypoda</i>	240	0.09	13	5	0.16
<i>Acer negundo</i>	239	0.09	14	4	0.13
<i>Ravenala madagascariensis</i>	213	0.08	12	18	0.58
<i>Bougainvillea</i>	189	0.07	10	6	0.19
<i>Myoporum laetum</i>	188	0.07	26	44	1.42
<i>Morus alba</i>	176	0.07	18	3	0.10
<i>Ficus carica</i>	170	0.06	19	3	0.10
<i>Citrus sinensis</i>	142	0.05	12	5	0.16
<i>Araucaria heterophylla</i>	131	0.05	16	4	0.13
<i>Bauhinia variegata</i>	126	0.05	10	2	0.06
<i>Ligustrum lucidum</i>	118	0.04	34	5	0.16
<i>Magnolia grandiflora</i>	109	0.04	16	2	0.06
<i>Leucaena leucocephala</i>	87	0.03	6	7	0.23
<i>Phoenix dactylifera</i>	82	0.03	34	1	0.03
<i>Euphorbia tirucalli</i>	80	0.03	12	3	0.10
<i>Platycladus orientalis</i>	74	0.03	8	6	0.19
<i>Platanus</i>	68	0.03	14	2	0.06
<i>Ceratonia siliqua</i>	63	0.02	22	2	0.06
<i>Olea europaea</i>	60	0.02	20	10	0.32

<i>Populus nigra</i>	52	0.02	8	2	0.06
<i>Schefflera actinophylla</i>	49	0.02	8	1	0.03
<i>Psidium cattleianum</i>	37	0.01	8	1	0.03
<i>Acacia farnesiana</i>	25	0.01	4	3	0.10
<i>Lagunaria patersonii</i>	19	0.01	25	8	0.26
<i>Prosopis</i>	17	0.01	8	1	0.03
<i>Prunus persica</i>	17	0.01	13	1	0.03
<i>Laburnum x watereri</i>	14	0.01	8	4	0.13
<i>Melaleuca nesophila</i>	14	0.01	13	2	0.06
<i>Psidium guajava</i>	13	0.00	18	4	0.13
<i>Malus</i>	10	0.00	4	1	0.03
<i>Azadirachta indica</i>	0	0.00	21	1	0.03
<i>Callistemon citrinus</i>	0	0.00	22	2	0.06
<i>Citrus limon</i>	0	0.00	3	1	0.03
<i>Nerium oleander</i>	0	0.00	17	56	1.81
<i>Pinus cembroides</i>	0	0.00	14	1	0.03

Nota: El número de árboles corresponde a los 3,097 árboles del inventario. Fuente: Elaboración propia con datos del inventario.

Fuente:Elaboracion propia , con datos del inventario de este trabajo.

La especie que mas capturo por individuo de acuerdo a la tabla anterior es *Grevillea robusta* con 229 kg de CO₂ por árbol aproximadamente durante el 2015, seguida por la *Washingtonia robusta* con 221 Kg de CO₂.

De las 68 especies encontradas, 46 (68%) capturaron menos de 100 Kg de CO₂ en el 2015 y solo 22 tuvieron un potencial mayor a esa cifra. Algunas no llegan a capturar 20 kg/año como *Acacia saligna* y otras pueden llegar a capturan más de 1,000 kg/año como *Schinus spp* (Cuadro 9). Sin embargo, cabe recalcar que esto depende del DAP y de las condiciones del árbol.

Cuadro 9. Especies que capturan más de 100 Kg de CO₂ en el 2015.

Especie	Captura de CO ₂ (Kg)					
	100-199	200-299	300-399	400-499	500-599	> 600
<i>Acer negundo</i>	•					
<i>Brachychiton populneum</i>	•					
<i>Casuarina equisetifolia</i>						•
<i>Erythrina caffra</i>	•					
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>						•
<i>Eucalyptus Globulus</i>						•
<i>Ficus benjamina</i>		•				
<i>Grevillea robusta</i>				•		
<i>Hibiscus</i>	•					
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	•					
<i>Melia azadarach</i>	•					
<i>Phoenix canariensis</i>			•			
<i>Pinus radiata</i>			•			
<i>Pithecellobium dulce</i>	•					
<i>Populus alba</i>						•
<i>Populus nigra</i>	•					
<i>Quercus robur</i>	•					
<i>Roystonea regia</i>	•					
<i>Schinus molle</i>						•
<i>Schinus terebinthifolius</i>						•
<i>Washingtonia robusta</i>						•

Fuente: Elaboración propia de acuerdo al muestreo de los parques en el 2015 en Tijuana B.C.

El cuadro anterior muestra el árbol que llegó a capturar la mayor cantidad de CO₂ durante el inventario de acuerdo a la especie a la que pertenecen. El árbol que más capturo pertenece a la especie *Schinus molle* tenía al 2015 un DAP de 136 cm y capturo durante ese año 1,043 kg de CO₂, el siguiente árbol que más capturo (766 kg de CO₂) es la palma *Washingtonia robusta* con un DAP DE 91 cm.

Captura de CO₂ por parque

La captura de CO₂ por parque varía dependiendo del número especies e individuos de cada una presentes, su DAP, su estado o condición y la superficie arbolada del parque(Cuadros 8 y 10), ya que algunos parques presentan áreas con caminos, juegos, kiosco, área de bancas, etc.. (Ilustración 2).Sin embargo, los parques capturaron en el 2015 un promedio de 1.57 Kg de CO₂/m²(considerando la superficie arbolada y no arbolada).

Ilustración 2. Imagen de algunos parques de Tijuana.



Fuente:Fotografías Propias, tomadas durante el trabajo de campo

Cuadro 10. Captura de CO₂ por parque y por delegación

# parque	Delegación	% de cobertura arbórea	Superficie Total del predio (m ²)	Superficie de Arbolado (m ²)	Captura de CO ₂ (Kg)	Promedio de captura (Kg de CO ₂ /m ² /año)
1	M	75	3,370	2,527	14,507	5.7
2	PT	30	6,783	2,035	8,427	4.1
3	C	20	10,537	2,107	18,820	8.9
4	C	85	1,600	1,360	4,394	3.2
5	C	80	9,008	7,206	14,400	2.0
6	M	75	1,721	1,291	3,197	2.5
7	M	50	383	192	1,589	8.3
8	M	90	371	334	1,341	3.3
9	M	75	572	429	1,003	2.3
10	LP	50	5,424	2,712	11,455	4.2
11	LP	70	14,793	10,355	18,335	1.8
12	LP	20	6,404	1,281	2,155	1.7
13	LP	75	2,547	1,910	7,090	3.7
14	M	60	2,337	1,402	8,475	6.0
15	M	60	1,506	903	4,668	5.2
16	M	80	770	616	1,258	2.0
17	LP	5	801	40	542	13.5
18	LP	30	1,252	376	553	1.5
19	LP	25	1,344	336	542	1.6
20	LP	25	1,908	477	1,848	3.9
21	CC	20	5,236	1,047	3,992	3.8
22	CC	5	1,584	79	1,367	17.3
23	LP	45	2,229	1,003	3,655	3.6
24	LP	30	1,477	443	786	1.8
25	C	70	3,879	2,715	5,881	2.2
26	C	80	1,166	932	2,080	2.2
27	MO	70	1,218	853	2,685	3.1
28	MO	15	2,357	353	3,832	10.8
29	MO	70	2,362	1,654	9,394	5.7
30	M	60	1,882	1,129	3,815	3.4
31	SAB	5	1,309	65	134	2.0
32	ST	50	1,444	722	3,648	5.1
33	MO	10	1,228	123	851	6.9
34	PT	20	2,277	455	5,393	11.8
35	PT	60	729	437	3,136	7.2
36	PT	45	2,213	996	8,901	8.9
37	PT	60	2,275	1,365	6,743	4.9
38	PT	60	4,465	2,679	38,841	14.5
39	PT	30	12,913	3,874	3,279	0.8
40	LP	5	1,000	50	211	4.2
41	CE	60	1,250	750	5,451	7.3
42	CE	20	2,662	532	6,581	12.4
43	CE	15	1,556	233	1,062	4.5
44	CE	85	1,203	1,023	2,236	2.2
45	PT	25	3,575	894	3,049	3.4
46	SAB	10	1,481	148	813	5.5
47	SAB	25	1,781	445	1,203	2.7
48	SAB	20	2,103	421	1,946	4.6
49	SAB	5	456	23	45	2.0
50	SAB	40	4,408	1,763	1,993	1.1
51	ST	10	1,650	165	637	3.9
52	ST	60	10,835	6,501	3,248	0.5
53	C V	20	5,257	1,051	627	0.6
54	C V	20	2,429	486	1,023	2.1
Total:			167,323	73,302	263,137	1.57

C= Centro; Ce= Centenario; CC= Cerro Colorado; CV= Cueros de Venado; M= La Mesa; MO= Mesa de Otay;
SAB= San Antonio de los Buenos; ST= Sánchez Taboada; PT= Playas de Tijuana; LP= La Presa.

Captura de CO₂ por delegación con datos del inventario

Con base en el inventario de los 54 parques y la metodología antes descrita se obtuvo la información necesaria para estimar la captura promedio de CO₂ por m² de arbolado de los parques en Tijuana, la cual resulto ser de 3.58 Kg para el año en estudio (dividiendo la sumatoria de la captura de CO₂ entre la sumatoria de la superficie arbórea)(Cuadro 11).

Cuadro 11. . Resumen de datos de la muestra representativa (54 parques) por delegación

Delegación	Superficie arbórea (m ²)	# especies	# arboles	Captura de CO ₂ (kg)	Densidad arbórea (árboles/ha.)
Centenario	3,021.1	31	207	15,330	685
Centro	15,750.0	34	386	45,575	245
Cerro Colorado	2,161.4	12	55	5,359	255
Cuero de Venado	960.8	7	48	1,650	499
La Mesa	5,310.5	40	384	39,626	723
La Presa	12,406.3	45	674	47,172	543
Mesa de Otay	3,573.4	24	180	16,762	504
Playas de Tijuana	17,220.1	45	895	77,769	520
San Antonio de los Buenos	4,617.6	18	97	6,134	210
Sánchez Taboada	4,810.8	15	171	7,533	355

Nota: Atribuyendo los valores de los parques del inventario de acuerdo a la delegación que pertenecen

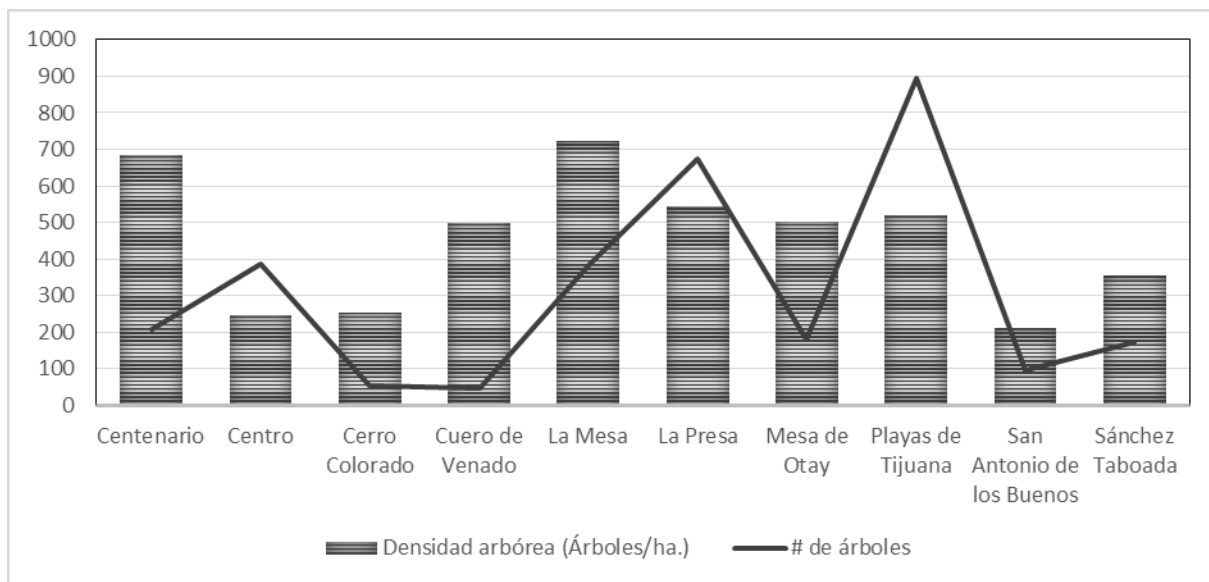
Fuente:Elaboracion propia , con datos del inventario de este trabajo.

Playas de Tijuana resulto ser la delegación con mayor superficie arbolada, variedad de especies, número de árboles y la que más capturó CO₂ (Kg) durante el 2015, no obstante no fue la que presentó mayor densidad arbórea (Cuadro 11).

Las delegaciones con mayor densidad de árboles fueron La Mesa (723 árboles/ha) y Centenario (685 árboles/ha) (Gráfica 9).

En promedio, la densidad arbórea de los parques es de 453 árboles/ha (dividiendo los 3,097 arboles encontrados en el muestre entre las 6.98 hectareas de superficie arbolada de los 54 parques de la muestra representativa) sin embargo, este valor varía mucho por delegación, por ejemplo existe una diferencia de 513 árboles/ha entre la delegación con mayor y menor más densidad arbórea La Mesa (723 árboles/ha) y San Antonio de los Buenos (210 árboles/ha) (Gráfica 7).

Grafica 7. Densidad del arbolado (árboles/ha) y número de árboles por delegación*.



Fuente: elaboración propia, con datos del inventario.

*El numero de arboles se calculo dividiendo los 3,097 arboles del inventario entra la superficie arbolada total de los 54 parques.

Captura de CO₂ de los 240 parques de Tijuana

Para la estimación de la captura de CO₂ de los 240 parques de Tijuana se usó como valor base el promedio de captura de CO₂ del inventario (3.58 KgCO₂/m²/año). Estimando que los 240 parques capturaron 22,369.9 Toneladas de CO₂ durante el 2015.

Analizando el comportamiento de la captura de CO₂ por las delegaciones considerando la superficie y porcentaje de cobertura arbórea de cada parque y delegación en la que se localizan observamos que aunque difieren entre ellas, existe una relación entre las variables de número de especies, densidad del arbolado y la cantidad carbono capturado (Cuadro 12).

Cuadro 12. Resumen de datos de los 240 parques urbanos por delegación.

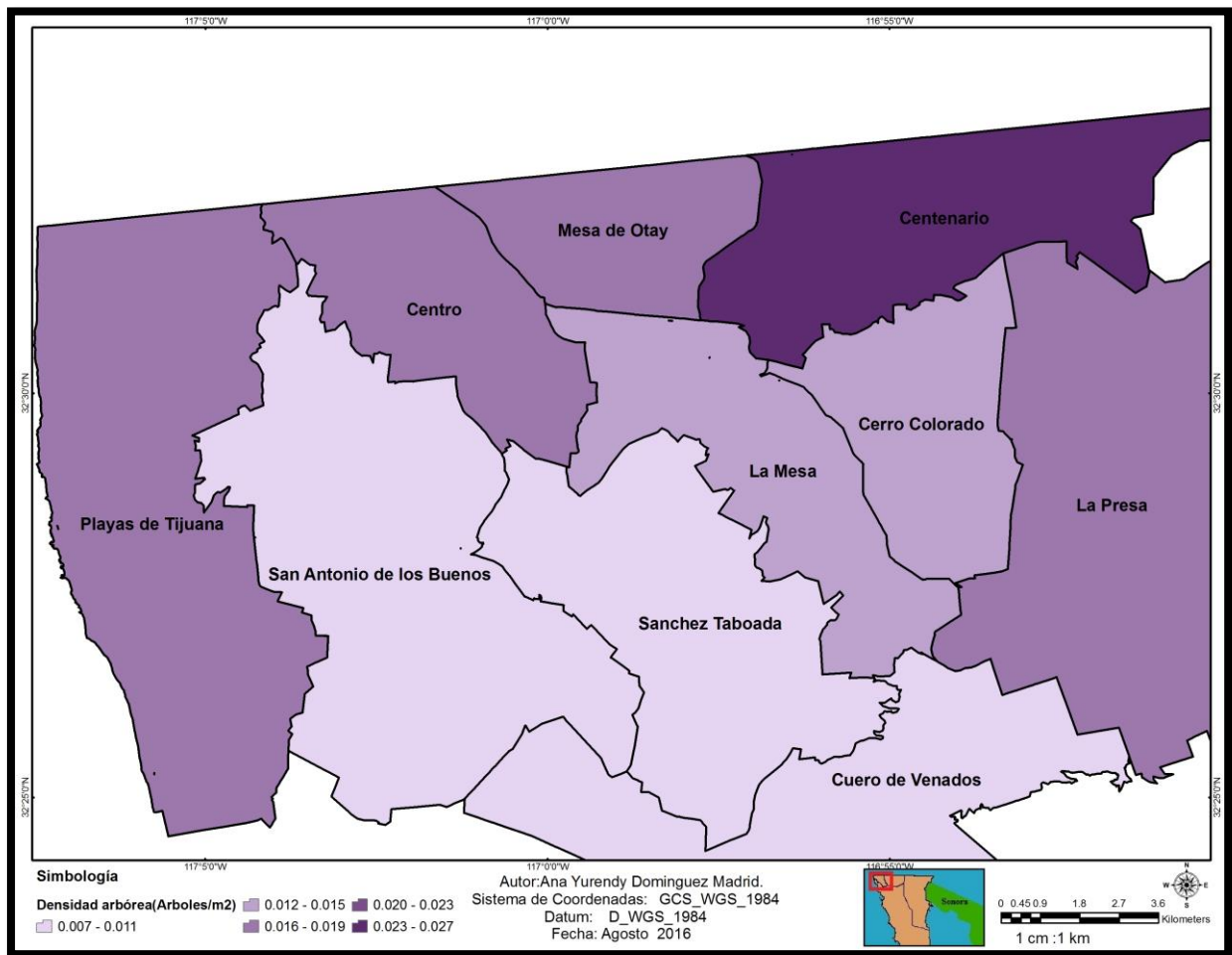
Delegación	Superficie Total (m ²)	Superficie arbolada (m ²)	# parques	Captura de CO ₂ (kg)	# de arboles	Densidad ⁸ (arboles/m ²)
Centenario	258,793	101,235	19	384,695	6,936	0.027
Centro	131,294	90,442	21	343,680	2,217	0.017
Cerro Colorado	51,582	28,654	11	108,883	729	0.014
Cuero de Venado	64,749	13,454	9	51,124	672	0.010
La Mesa	738,831	130,634	40	496,409	9,446	0.013
La Presa	231,370	74,200	49	281,960	4,031	0.017
Mesa de Otay	142,156	51,159	16	194,403	2,577	0.018
Playas de Tijuana	170,927	54,605	34	207,499	2,838	0.017
San Antonio de los Buenos	99,164	34,786	13	132,187	731	0.007
Sánchez Taboada	46,805	13,538	25	51,443	481	0.010

Fuente: Elaboración propia, con base en los resultados del inventario.

⁸ Para la densidad se considero la superficie total de los parques(superficie arbolada y no arbolada) entre el número de arboles estimado(considerando la densidad del muestreo).

La alta densidad arbórea de la delegación del Centenario de 268 arboles por m² de sus parques (considerando 6,936 arboles* entre 258,793m² que corresponden a la sumatoria de la superficie Total (Arbolada y no arbolada) de los 19 parques, Esta delegación es superior debido a su alta densidad de arboles por superficie arborea, considerando unicamente la superficie arbolada, calculada de acuerdo al % de cobertura arborea reportada por Huizar, 2012 (Mapa 4).

Mapa 4. Densidad arbórea (árboles/m²) por delegación

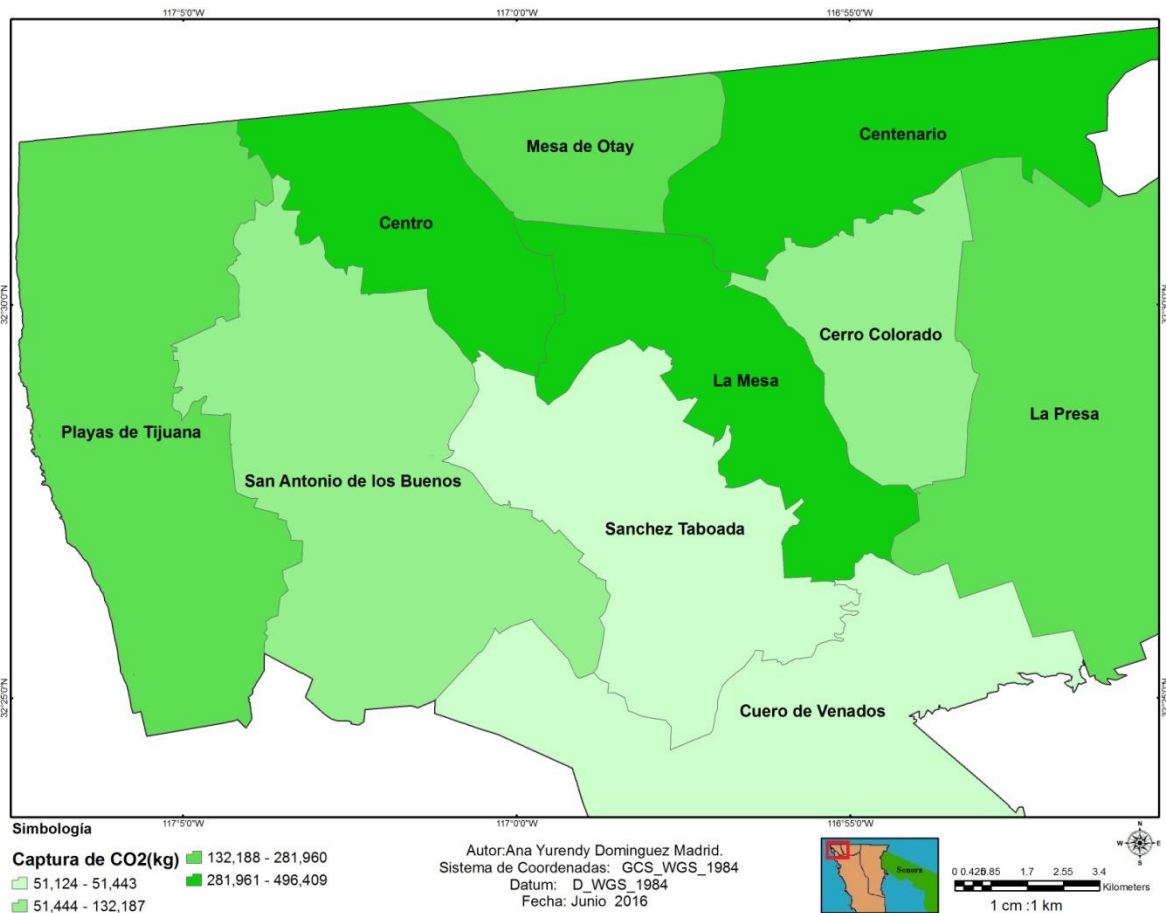


Fuente: Elaboración propia, con intervalos por el método de Jenks (ArcGIS Pro, 2016).

*El número de árboles fue de acuerdo a la densidad de la superficie arborea de la muestra representativa de los árboles de esta delegación multiplicando por la superficie arborea de todos los árboles correspondientes a la misma delegación (considerando su % de cobertura arborea).

La delegación La Mesa es la que tiene la mayor captura de CO₂ (22%), seguida por Centenario (17%), Centro (15%), La Presa (13%), Mesa de Otay y Playas de Tijuana (9%), San Antonio de los Buenos (6%) y Cerro Colorado (5%). En contraste las delegaciones con menor porcentaje de captura son Cueros de Venado y Sánchez Taboada (2%) debido principalmente a los m² de superficie arbolada (Cuadro 12 y Mapa 5).

Mapa 5. Captura de CO₂ por delegación



Fuente: Elaboración propia, con intervalos por el método de Jenks (ArcGIS Pro, 2016).

4.2 Emisiones de CO₂ por consumo de combustible en Tijuana.

La información necesaria para estimar la cantidad CO₂ emitida por consumo de combustibles varía de acuerdo a sus características. Estas características dependen del tipo de combustible (Magna, Premium y Diésel) y del proceso de refinación, el cual está ligado a su origen.

El combustible que llega a Baja California se origina en las zonas productoras de Veracruz y Villa Hermosa. Desde estos puntos, pasa a la refinería Salina Cruz, ya que en Baja California no existe infraestructura de refinación (SEMARNAT, 2012). Posteriormente, el combustible se transporta vía marítima, por medio de buques tanque a la terminal marítima de Rosarito en Baja California (Gómez, 2006, Muñoz *et al.*, 2012). La terminal de Rosarito distribuye el combustible por medio de poliductos a Mexicali y a Ensenada; y por carretera a la zona urbana de Tijuana y Tecate (Mapa 6 y figura 3), ciudades en las que se almacena en las Terminales de Almacenamiento y Reparto (TAR) de cada ciudad (Gómez, 2006).

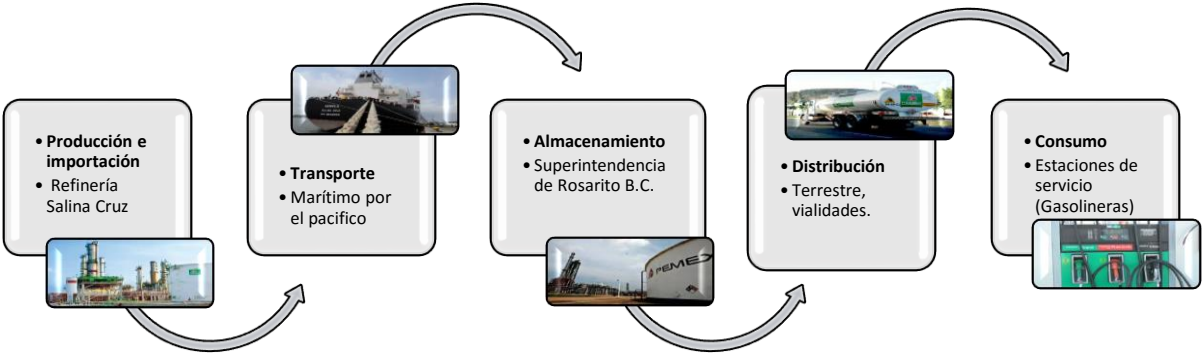
Mapa 6. Instalaciones y Distribución de Combustibles para Baja California.



Fuente: elaboración propia con base en el Anuario estadístico Pemex, 2014.

Del total de combustible que llega a la zona metropolitana de Tijuana-Tecate-Rosarito, Tijuana se lleva el 85%, Tecate 8%, Rosarito 7% (SENER, 2015).

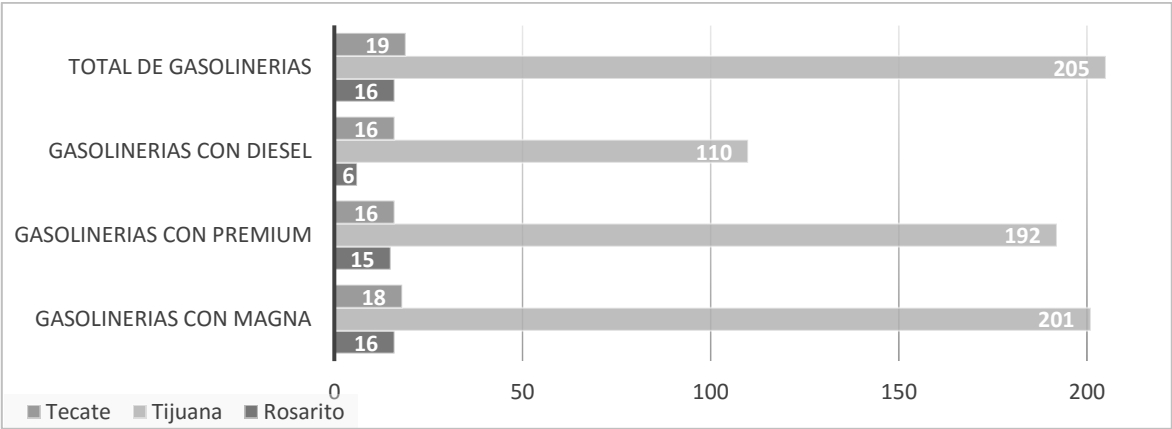
Figura 3. Logística del abastecimiento de combustible a Tijuana



Fuente: elaboración propia con base en el Anuario estadístico Pemex, 2014.

No obstante, no todas las estaciones de servicio comercializan los mismos productos, por ejemplo en Tijuana casi la mitad de sus estaciones ofrecen los tres tipos de combustible (Subdirección Comercial PEMEX, 2015) (Grafica 8).

Grafica 8. Estaciones de Servicio en Tecate, Tijuana y Rosarito 2015.

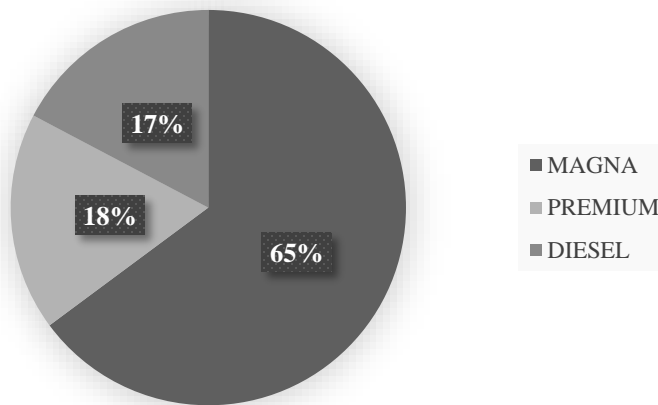


Fuente: Elaboración propia con base en información de Subdirección Comercial PEMEX, (2015).

La información del volumen de venta de combustibles fue obtenida de la Dirección de Comercialización de Pemex Transformación Industrial, a través del INAI. El total de ventas reportado por las estaciones de servicio de Tijuana en el 2015, fue de 1'103,972.28m³, repartidas de la siguiente forma: 715,887.16m³ de gasolina Magna, 197,274.51m³ de Premium y 190,810.61m³ de Diésel (Dirección de Comercialización de Pemex Transformación Industrial, 2016).

Al ser la más económica, la gasolina Magna es el combustible de mayor consumo y por lo tanto la más abundante (Grafica 09). Asimismo es la que tiene menor octanaje (87 octanos a comparación de los 92 octanos de la gasolina Premium), lo que provoca menor rendimiento y por ende mayores emisiones de CO₂. La gasolina Premium y Diésel tuvieron casi el mismo volumen de venta, conformando en conjunto un tercio del total de los combustibles

Grafica 09. Volumen de venta de combustible en Tijuana durante 2015.



Fuente: Unidad de Enlace Transformación Industrial Pemex, 2016.

4.2.2 Datos para la estimación de emisiones de CO₂

La precisión de las estimación de emisiones de CO₂ dependen del grado de detalle de datos con los que se cuente (IPCC, 2006). Las variables necesarias para su cálculo son: venta/consumo, valores del factor de emisión, poder calorífico y densidad, todos por tipo de combustible (IPCC, 2006). Se obtuvieron los datos detallados requeridos para la zona de estudio, ya que existe una gran diferencia con las estimaciones generalizadas que ofrece el IPCC y PEMEX (Cuadro 13), estas difieren por la calidad y características particulares del combustible consideradas para la estimación.

El IPCC solo ofrece información englobada de Magna y Premium y sólo separa el diésel. Para la gasolina el valor promedio de PEMEX es un 6.5% mayor al promedio reportado por el IPCC en 2006 y un 7.5% mayor al de 1996. Caso contrario del Diésel que el promedio reportado por PEMEX es 1.6% menor al del IPCC en 2006 y 0.61% menor al de 1996.

Cuadro 13. Comparación de factores de emisión de combustibles

Tipo de Combustible	Variable	Factores de emisión (Kg CO ₂ /TJ)		
		PEMEX (2014)	IPCC (1996)	IPCC (2006)
Gasolina	Límite inferior	72,704	ND	67,500
	Promedio	73,791	68,607	69,300
	Límite superior	74,878	ND	73,000
Diésel	Límite inferior	72,019	ND	72,600
	Promedio	72,881	73,326	74,100
	Límite superior	73,742	ND	74,800

ND= No disponible; TJ=Terajoules⁹.

Fuente: elaboración propia con base en Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 2014.

⁹ Terajoules: 1 Terajoules equivale a 10¹² Joules; 1 J (Joul) =1Ws=4.1868 cal.

El poder calorífico neto, la densidad (Densidad particular de cada tipo de combustible) y factores de emisión CO₂ por tipo de combustible los cuales dependen de su origen (extracción y refinación) y las características particulares definidas por PEMEX. Para Tijuana se usaron los factores de conversión reportados por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP, 2014), para la gasolina proveniente de Veracruz y Villa Hermosa y para el Diésel de Villa Hermosa (Cuadro 14).

Cuadro 14. Poder calorífico neto, densidad y factores de emisión CO₂ por tipo de gasolina que llega a Tijuana.

Tipo de Combustible	Poder calorífico Neto		Densidad		Factores de emisión
	MJ/Kg	TJ/Ton	kgCO ₂ /TJ	kg/m ³	kgCO ₂ /TJ
Magna RP Veracruz	42.72	0.04	0.740	740.000	73,943.26
Magna RP Villa Hermosa	42.83	0.04	0.740	740.000	73,684.91
Premium RP Veracruz	42.23	0.04	0.731	731.000	74,809.91
Premium RP Villa Hermosa	42.02	0.04	0.738	738.000	75,114.02
Pemex Diésel RP Villahermosa	42.37	0.04	0.820	820.000	74,216.80
Promedio Magna	42.78	0.04	0.740	740.000	73,814.09
Promedio Premium	42.13	0.04	0.735	734.500	74,961.97
Promedio Diésel	42.37	0.04	0.820	820.000	74,216.80

Nota: RP = Resto del País

Fuente: Modificado de Instituto Mexicano del Petróleo (2014).

Adicionalmente se estimaron las emisiones de los otros dos GEI que se generan en los vehículos durante la combustión: el CH₄, y el N₂O. Dado que no existen datos detallados para estos GEI, se consideraron los factores de emisión estándar del IPCC (2006), sin hacer diferencias entre los tipos de gasolina. Los valores de estos factores son los mismos para gasolina y diésel fueron 3 Kg de CH₄/TJ y 0.6 Kg de N₂O/TJ respectivamente (IPCC, 2006) (Anexo 8).

4.2.3 Estimaciones de emisiones de CO₂

Las emisiones de CO₂ estimadas por consumo de combustibles en Tijuana fue de 2,622 Giga gramos de CO₂ durante el 2015, este dato se obtuvo siguiendo la formula de Emisiones de CO₂, descrita en la Metodologia de este trabajo (cuadro 2), la cual consiste en sumar los resultados obtenidos (Kg de CO₂ emitido) de multiplicar el consumo del energético en TJ por el factor de emisión (Kg/CO₂/TJ) de cada tipo de combustible como se observa en el cuadro 15.

Cuadro 15. Emisiones de CO₂ durante el 2015 en Tijuana.

Tipo de combustible	Consumo del Energético (TJ)	×	Factor de Emisión(Kg CO ₂ /TJ)	=	Kg de CO ₂ emitido
Gasolina Magna	22,660.33		73,814.09		1,672,651,836.17
Gasolina Premium	6,103.83		74,961.97		457,555,362.56
Diesel	6,629.41		74,216.80		492,013,547.66
			EMISIONES DE CO ₂ (kg de CO ₂)	Σ	2,622,220,746
			EMISIONES DE CO ₂ (Gg de CO ₂)		2,622

Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX, 2015.

Aunque la información disponible sobre la cantidad de vehículos registrados en Tijuana es de 2014 (Cuadro 16) y la de las emisiones de CO₂ es de 2015, al dividir el parque vehicular entre las emisiones de CO₂ por el consumo de combustible durante el 2015 se obtuvo que cada vehículo emitió de 4,898 Kg de CO₂ durante el 2015. Bajo esta misma lógica se estima que los 615,169 vehículos registrados en la zona urbana de Tijuana (los tres municipios) emitieron 3,013,097,762 Kg de CO₂ a la atmósfera durante el 2014.

Cuadro 16. Vehículos registrados en 2014.

Municipio	Total	Clase de vehículo			Tipo de servicio		
		Automóviles	Camiones pasajeros	Vehículos de carga	Motocicletas	Públicos	Particulares
Tecate	42,371	29,498	301	12,148	424	299	42,072
Tijuana	535,356	407,412	2,224	118,312	7,408	5,473	529,883
Rosarito	37,442	26,492	112	10,493	345	630	36,812
Σ	615,169	463,402	2,637	140,953	8,177	6,402	608,767

Fuente: INEGI (2015)

Emisiones de los GEI a la atmosfera atribuidos al consumo de combustible

Los resultados de las emisiones de GEI atribuidas al consumo de combustible: CO₂, CH₄ y N₂O del transporte en Tijuana durante el 2015, revelan que el CO₂ es el principal GEI emitido con el 99.9% (Cuadro 17). Sin embargo cabe resaltar, que aunque el porcentaje de los otros dos gases es menor al 1%, su potencial de calentamiento, es decir, su capacidad de retención de calor en la atmosfera es muy alto, y por lo tanto el tiempo para erradicar sus efectos es mayor (IPCC, 2006).

Cuadro 17. Emisiones de GEI por consumo de combustible en Tijuana durante el 2015.

Tipo de combustible	Emisiones GEI		
	Kg de CO ₂	Kg de CH ₄	Kg de N ₂ O
Gasolina Magna	1,672,651,836.17	67,981.0	13,596.2
Gasolina Premium	457,555,362.56	18,311.5	3,662.3
Diésel	492,013,547.66	19,888.2	3,977.6
Total	2,622,220,746	106,180.7	21,236.1

Fuente:Elaboración Propia con datos de PEMEX,2015.

4.2.4 Emisiones del consumo de combustible en términos de CO_{2e}

Para la conversión de las emisiones de los tres GEI (CO₂ CH₄ N₂O) a CO_{2e} (equivalente) se usó un horizonte de tiempo de 100 años, que es el más utilizado en las investigaciones y publicaciones de GEI. Para el CO₂ el valor de factor de emisión usado fue de uno, para el CH₄ fue de 21 y para el N₂O de 310 (CONUEE, 2009). Desarrollando la fórmula para las Emisiones de CO_{2e} (Cuadro 2) obtuvimos que la estimación de las emisiones para Tijuana por el consumo de combustibles durante el 2015 fueron de 2,631 Giga gramos de CO_{2e} (Cuadro 18).

Cuadro 18. Emisiones de CO_{2e}.

Tipo de GEI	Emisiones totales de GEI (Kg)	Factor de conversión CO _{2e} para GEI (Kg de CO _{2e} / Kg)	Emisiones de CO _{2e} (Kg)
CO ₂	2,622,220,746	1	2,622,220,746.4
CH ₄	106,180.7	21	2,229,795.4
N ₂ O	21,236.1	310	6,583,205.4
Total de Emisiones de CO _{2e} (kg de CO _{2e})			2,631,033,747
Total de Emisiones de CO _{2e} (Gg de CO _{2e})			2,631

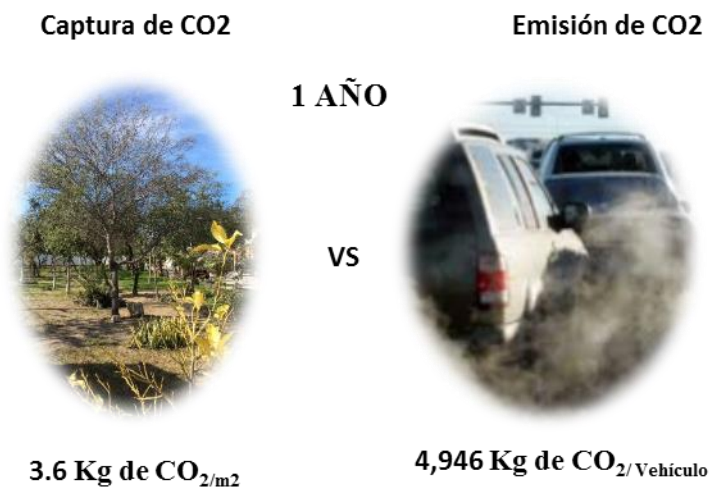
*CO_{2e} = Bióxido o Dióxido de Carbono equivalente

Fuente:Elaboracion propia, con datos de PEMEX, 2015.

4.3 Escenarios de captura de CO₂ del arbolado urbano

En la situación en la que actualmente se encuentra Tijuana, el arbolado de los parques contribuyen a capturar 3.6 Kg de CO₂/m²/año y cada vehiculo emitio en promedio 4,946 Kg de CO₂ durante el 2015. Con este valor, se estimó que sería necesario que por cada vehiculo que estuvo en circulación durante el 2015 se debía contar con 1,301m² de arbolado en la ciudad de Tijuana para compensar las emisiones de CO₂ (Ilustración 3) pero esto no fue posible y únicamente se capturo el 0.08% de las emisiones (Escenario 1).

Ilustración 3. Comparación entre la captura y emisión de CO₂ al año en Tijuana



Para contrarrestar las emisiones de CO₂ por el consumo de combustible vehicular se diseñaron diferentes escenarios de porcentaje de cobertura arbórea de los parques (Cuadro 19). Uno de acuerdo a la situación actual del arbolado urbano de Tijuana (escenario 1) y otro con una cobertura arbórea de 87.5% (no se consideró el 100% debido a que existen construcciones y servicios en los parques y porque es importante que los arboles urbanos puedan tener suficiente espacio para su desarrollo) (escenario 2). Otro escenario sería el considerar todos los tipos de área verde que se encuentran considerados actualmente y si estos contaran con un 87.5% de cobertura arborea (escenario 3). Para aumentar hipotéticamente la cobertura (escenarios cuatro, cinco y seis) se recurrió a recomendaciones de m²/área verde/habitante de órganos nacionales e internacionales, considerando coberturas arbóreas de 87.5% y una población de 1, 696,430 de habitantes (COPLADE, 2014) .

Los escenarios del uno al seis muestran que el potencial de captura del arbolado de los parques, glorietas, camellones etc. no es muy significativo, para contrarrestar las emisiones de CO₂ producidas por los vehículos, y nos indican que sería necesario que el 79% de la superficie en Tijuana tuviera una cobertura arborea para contrarrestar las emisiones de CO₂.(Tomando en cuenta el promedio de captura de CO₂ por m² de este trabajo).

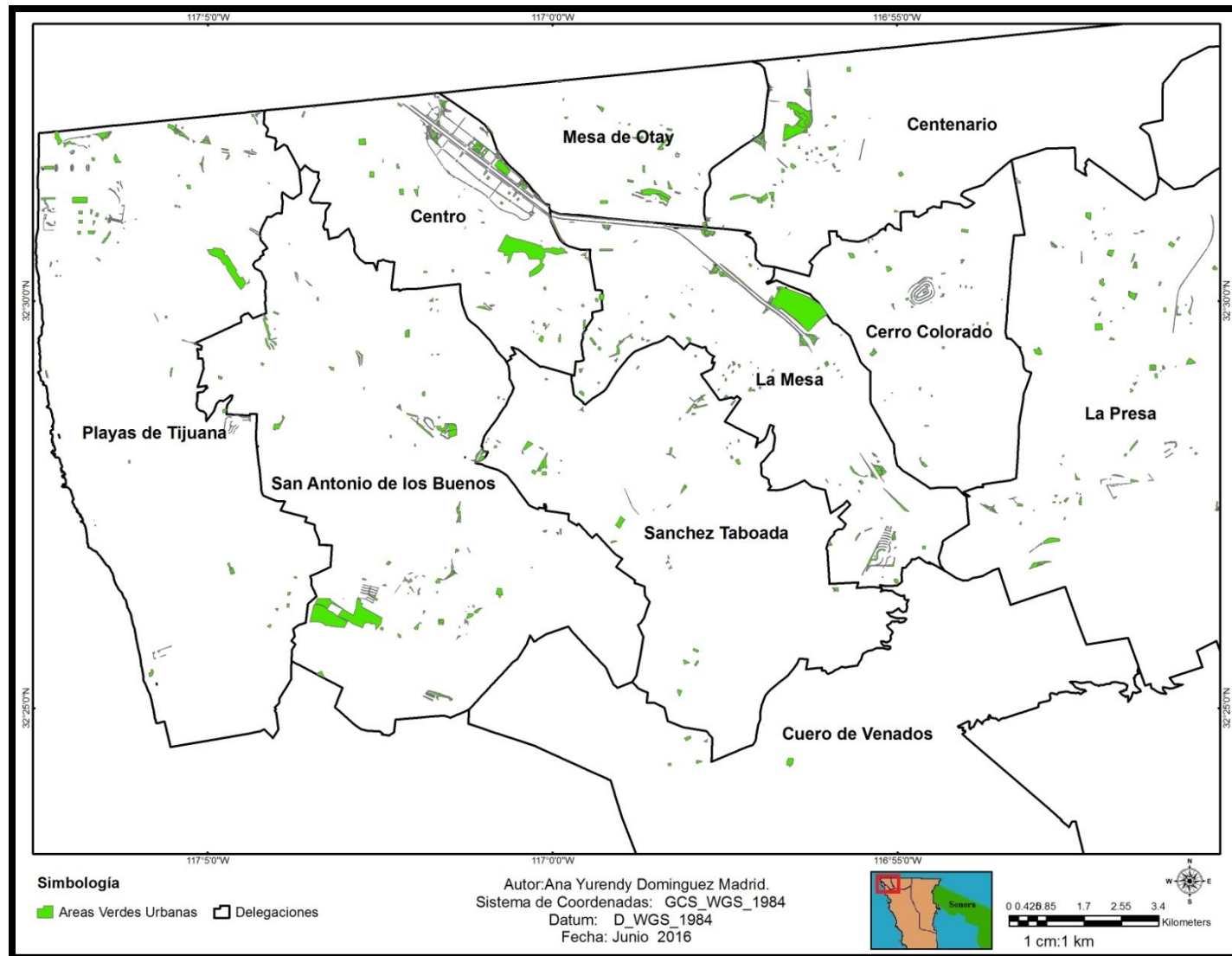
Cuadro 19. Capacidad de captura de CO₂ de diferentes superficies de parques en Tijuana

	Contenido de cada escenario	Captura de CO ₂ (kg)	% CO ₂ capturado/ superficie arbolada	Superficie arbolada (m ²)	% de superficie Tijuana	
Escenarios	1	Total de 240 parques (Heber y Ojeda, 2014)	2,131,084	0.08	593,659	0.06
	2	Total de parques con 87.5% de cobertura arbórea	6,074,749	0.23	1,693,712	0.18
	3	Todos los tipos de áreas verdes (IMPLAN, 2014*) con 87.5% de cobertura arbórea.	16,963,913	0.65	4,729,740	0.51
	4	Hipotética. Parámetro recomendado por Sedesol (Sedesol, 1999) de 4m ² /habitante (promedio de Kg de CO ₂ /m ² /año).	24,337,989	0.93	6,785,720	0.74
	5	Hipotética. Parámetro recomendado por la Organización Mundial de la Salud (Sedesol, 2010) de 10 m ² /habitante (promedio de Kg de CO ₂ /m ² /año).	60,844,973	2.32	16,964,300	1.84
	6	Hipotética. Parámetro recomendado por la Organización de las Naciones Unidas (Sedesol,2010) de 16 m ² /habitante (promedio de Kg de CO ₂ /m ² /año).	97,351,956	3.71	27,142,880	2.95

Fuente: Elaboración propia con datos de IMPLAN (2010 y 2014), Huizar y Ojeda (2014), INAI (2016) y Transformación Industrial Pemex (2016).

El escenario 3 si lo observamos es una superficie con la que se cuenta ya actualmente por lo que no sería necesario gestionar el implementar nuevas áreas verdes, solo consiste en llevar a cabo una reforestación, lo que la vuelve el escenario más factible y esta incrementaría un poco más de 8 veces lo que se está capturando actualmente por el arbolado en los parques.

Mapa 7. Escenario 3. Áreas verdes de Tijuana al 2015 con 87.5% de cobertura



CAPITULO V. DISCUSIÓN

En términos generales, los estudios sobre la capacidad de captura de CO₂ de la vegetación urbana pueden variar de acuerdo a la escala espacial y temporal, el grano de detalle (fino o grueso), el tipo de información y certidumbre de los datos recopilados, así como a la metodología y formulas empleadas para su cálculo.

Las escalas pueden incluir pequeñas superficies (Seed Consulting Service, 2016; Escobedo, 2010, Chaparro y Terradas, 2009, Nowak, 2009), todo el arbolado urbano (Nowak et al., 2016, Kenton et al., 2015), una ciudad completa (Davey Resource, 2014; Nowak, 1994; Nowak, 1993), un país (Zhao et al., 2010, Chen, 2015, Nowak et al., 2013) e incluso una amplia región (Hutyra et al., 2011 y Jo, 2002).

Las metodologías utilizadas para estimar la captura de CO₂ de los árboles se basan en ecuaciones alométricas cuyo grano o grado de detalle varía. Estas pueden estar disponibles en programas de cómputo por especies y talla de árbol, etc. (Chaparro y Terradas, 2009; Davey Resource, 2014; Kenton et al., 2015; Russo, 2015; Velasco, 2016 y Nowak et al., 2016) o por medio de tablas que presentan promedios de captura, casi siempre por género, familia o tipo de vegetación (Christen et al., 2011; Vaccari et al., 2013; Chen, 2015; Tang, 2016, y Russo, 2015).

Dentro el primer tipo de metodología (de programas de cómputo), existen tres variantes. Los que solo consideran la superficie arbórea usando imágenes de satélite (Chaparro y Terradas, 2009) que ya cuentan con mucha información; los que usan información por individuo considerando la competencia o limitaciones del conjunto de árboles (Nowak et al., 2009, Escobedo, 2010); y los que como en el presente estudio usan información por individuo- especie.

Debido a la gran diversidad de aproximaciones de captura de CO₂ del arbolado urbano, a pesar de que en los últimos años se han realizado muchos estudios sobre el tema (Nowak et al., 2016; Tang, 2016; Velasco 2016; Russo, 2015; Zhao, 2015; Chen, 2015; Vaccari et al., 2013; Escobedo, 2010), resulta difícil compararlos con el presente trabajo. Sin embargo, considerando las variaciones antes mencionadas, a continuación se compara a Tijuana con otras partes del mundo, en términos de variedad de especies usadas, densidad arbórea, captura de CO₂ del arbolado y porcentaje de emisiones de CO₂ capturado por la vegetación.

Se encontró que la variedad de especies del arbolado presente en los parques de Tijuana es baja al compararla con ciudades como Barcelona (Chaparro y Terradas, 2009), aunque debe aclararse que este último incluye a zona a la periurbana (Cuadro 20). A escala solo de parques, Tijuana supera el número de especies reportados para algunas ciudades en Estados Unidos de America (EUA) como Las Cruces (36 especies), Chicago (Nowak et al., 2009) y Austin (Nowak et al., 2009) (Cuadro 20). No obstante, cabe resaltar que solo a cinco especies (*Acacia saligna*, *Ficus benjamina*, *Casuarina Equisetifolia*, *Eucaliptus sp.*, *Fraxinus uhdei*, *Schinus terebinthifolius* y *Washingtonia robusta*) representan el 75% de la variedad de especies presentes en los parques estudiados. Lo anterior indica que aunque hay una variedad de las especies arbórea aceptable, la población de algunas especies es muy alta, lo que puede aumentar el riesgo de propagación de plagas y enfermedades.

Cuadro 20. Variedad de especies del arbolado urbano de otras ciudades.

Ciudad	Referencia	Numero de especies presentes
Las Cruces, EUA ¹⁰	Davey Resources, 2014	36
Chicago, EUA ¹¹	Nowak et al., 2009	58
Austin, EUA ⁶	Nowak et al., 2016	62
Tijuana, México ⁷		68
Londres, Inglaterra	Kenton et al., 2015	71
Toronto, Canadá ⁷	Millward y Sabir, 2011	116
Barcelona, España ⁶	Chaparro y Terradas, 2009	138

Fuente: Elaboración propia con referencias citadas en el cuadro.

Durante el trabajo de campo se encontró en algunos parques, la presencia de SAGARPA realizando control fitosanitario. Controlar plagas puede evitar la muerte de una gran cantidad de individuos. Por lo mismo, es indispensable se incluya una mayor variedad de especies para disminuir los riesgos de plagas y enfermedades (Kenton et al, 2015), y aumentar el uso especies nativas de la región, para contribuir a la conservación de la biodiversidad.

¹⁰ Numero de especies de árboles urbanos: calles, parques, jardines y otros espacios abiertos.

¹¹ Numero de especies de árboles únicamente en parques.

Se corroboró con otros estudios que las variables más relevantes a tomar en cuenta para la captura de CO₂ del arbolado urbano, son la especie, el DAP y la densidad de arboles por superficie (Escobedo et al, 2010, Nowak, 2016), siendo la especie la variable de mayor peso.

Por lo que respecta a la variable especie, en Tijuana *Eucalyptus globulus* es la que más captura CO₂ y es de las más abundantes, aunque también es considerada como especie invasora (Chaparro y Terradas, 2009). La variable de densidad arbórea, en algunas ciudades como Dade, y Gainesville en Florida (Escobedo, 2010) reportan tener entre dos punto cinco y cinco veces mayor densidad de la que hay en Tijuana, no obstante es importante aclarar que el clima en florida es muy diferente al de Tijuana lo cual puede reflejarse en mayor diversidad y densidad arborea entre otras variables (Cuadro 21).

Cuadro 21. Estimación de captura de CO₂ del arbolado en parques de otras ciudades.

Ciudad	Referencia	Promedio captura (kg CO ₂ /m ² /año)	Captura CO ₂ (kg CO ₂ /año)	Área parque (m ²)	Número árboles	Densidad (árboles/m ²)
Dade, EUA	Escobedo, 2010	0.0021	241,000	113,380,000	11,147,061	0.0983
Barcelona, España	Chaparro y Terradas, 2009	0.2208	1,002,000	4,537,780	212,437	0.0468
Unley, Australia	Baldocchi, 2008	0.2506	10,079	40,226	683	0.0170
Chicago, EUA	Nowak et al., 2009	0.9884	25,200,000	25,495,218	274,000	0.0107
Tijuana, México		1.5726	263,137	167,323	3,097	0.0185
Gainesville, EUA	Escobedo, 2010	13.5609	36,750,000	2,710,000	128,975	0.0476

Fuente: Elaboración propia con referencias citadas en cuadro (coniderando la superficie total de los parques-arbolada y no arbolada-).

Por otro lado, en lo que se refiere a la captura promedio de CO₂, a escala de parques, el valor de 1.57 kg de CO₂/m²/año calculado para Tijuana, es bastante superior al reportado para ciudades como Barcelona, España (Chaparro y Terradas, 2009) o Chicago en EUA (Nowak et al., 2009), entre otras; pero mucho menor que el reportado para Gainesville, EUA, que como ya se dijo anteriormente las características geográficas repercuten (Escobedo, 2010) (Cuadro 21). No hay que olvidar que los trabajos antes mencionados al utilizar metodologías diferentes, pueden tener diferentes grados de precisión y que las características del sitio como lo es el clima también repercuten. Cabe resaltar además que el cálculo de Tijuana se realizó sobre toda la superficie de los parques, pero como poco más de 60% de la superficie de los parques no tiene cubierta arbórea, existe un gran potencial para aumentar la captura de CO₂.

A escala de ciudad, al comparar la captura de CO₂ del arbolado urbano (parques, glorietas, camellones, etc.) (IMPLAN, 2014), Tijuana resulta ser la que presenta el promedio más bajo, aunque se acerca a Las Cruces (Davey Resources, 2014a) y El Paso, EUA (Davey Resource, 2014b), ciudades con características parecidas. Sin embargo, la densidad arbórea promedio que Tijuana presenta es mucho más alta (Cuadro 22).

Cuadro 22. Densidad arbórea y captura de CO₂ del arbolado urbano de otras ciudades.

Ciudad	Referencia	Promedio de captura de CO ₂ del arbolado urbano ¹² (kgCO ₂ /m ² /año)	Densidad arbórea (árboles /m ²)
Tijuana, México		0.0105 ¹³	0.0185
Las Cruces, EUA	Davey Resources, 2014a	0.0148	0.0022
El Paso, EUA	Davey Resource, 2014b	0.0172	0.0031
Jersey City, EUA	Kenton et al., 2015	0.0222	0.0035
Albuquerque, EUA	Davey Resource, 2014c	0.0271	0.0044
Eastern Colorado, EUA	Davey Resource, 2014a	0.0271	0.0030
Calgary, Canadá	Davey Resource, 2014a	0.0296	0.0165
Phoenix, EUA	Davey Resource, 2014d	0.0345	0.0032
Philadelphia, EUA	Nowak et al, 2007	0.0469	0.0062
Londres, Inglaterra	Kenton et al., 2015	0.0513	0.0051
Nueva York, EUA	Kenton et al., 2015	0.0518	0.0065
Minneapolis, EUA	McPherson et al, 2005	0.0593	0.0065
Toronto, Canadá	Kenton et al., 2015	0.0642	0.0119
Boston, EUA	Davey Resource, 2014a	0.0741	0.0083
Baltimore, EUA	Davey Resource, 2014a	0.0766	0.0126
Syracuse	Davey Resource, 2014a	0.0840	0.0135
Woodbridge	Davey Resource, 2014a	0.0939	0.0164
Moorestown	Kenton et al., 2015	0.0988	0.0153
Washington, EUA	U.S. Forest Service, 2010	0.1013	0.0121
Freehold	Kenton et al, 2015	0.1087	0.0095
Morgantown	Kenton et al., 2015	0.1309	0.0296
Atlanta, EUA	Davey Resource, 2014	0.1359	0.0276
Austin, EUA	Nowak et al., 2016	0.3871	0.1424

Fuente: Elaboración propia con referencias citadas en cuadro.

¹² Arbolado Urbano: árboles que se encuentran dentro de la ciudad (calles, parques...).

¹³ Nota: Para que fueran comparables con los datos de otras ciudades, la captura de CO₂ del arbolado urbano y la densidad arbórea de Tijuana se estimaron considerando la superficie total de áreas verdes con 50% de cobertura arbórea (2, 702,708.7m²) y el promedio de captura de CO₂ de la muestra de parques (3.58 kgCO₂/m²/año).

Al igual que en el caso de la captura de CO₂ de la vegetación urbana, para estimar las emisiones de CO₂ del sector transporte, existen diferentes metodologías que dependen de la cantidad de información disponible y los recursos con los que se cuentan. Algunas se basan únicamente en el consumo de combustible como el caso del presente estudio y otras en la cantidad de vehículos y particularidades de los mismos (IPCC, 2006 y Zhao, 2015). De igual forma, varían en el grado de detalle y escala de la información: emisiones antropogénicas totales (Escobedo et al, 2010; Jo, 2012 y Vaccari et al, 2013), combustibles fósiles totales (Chen, 2015), emisiones del sector industrial (Zhao et al., 2010) o del sector transporte (Liu y li, 2012; Russo et al., 2015; Zhao, 2015; Velasco, 2016), como en el presente estudio.

Al comparar las emisiones de CO₂ producidas en Tijuana por el sector transporte, con otras ciudades del estado de Baja California de acuerdo al consumo de combustible, se encuentra que Tijuana emite 57% más que Ensenada y 2% menos que Mexicali (SENER, 2016). Comparando con otras Ciudades fronterizas de México Tijuana consume, 14% más que Reynosa y 3% más que Ciudad Juárez (SENER, 2016) (Anexo 6). En cuanto a la motorización en comparación con otras zonas metropolitanas de México ocupa el segundo lugar en numero de vehículos por habitante presidida por la zm de Mexicali, estas dentro del estado de Baja California (ONU-Habitat, 2015) (Anexo 7).

Las emisiones de los vehículos automotores atribuidos a Tijuana fueron de 2, 622,221 toneladas de CO₂e durante el 2015. Aunque no existen a nivel nacional datos recientes, este valor equivale a 1.95% (134,963.Gg de CO₂e) de las emisiones del país en el 2006 (SEMARNAT, INE, 2010:74) y 1.51% (174,156.53 Gg de CO₂e) de las emisiones de fuentes móviles de autotransporte y no carreteras del inventario del 2013 (INECC y Semarnat, 2015), lo que puede indicar que las emisiones se mantienen relativamente constantes.

Sobre el tema del balance entre las emisiones de CO₂ del autotransporte y su captura por la vegetación, se han realizado diversas investigaciones, que varían de acuerdo al tipo de emisiones, esto es, si son de fuentes antropogénicas (móviles y fijas) (Vaccari et al., 2013, Escobedo et al., 2010 y Jo, 2002), solo fijas (industria) (Zhao et al., 2010), solo móviles (Russo et al.,2015) o que consideran todos los tipos combustibles fósiles usados incluyendo el carbón (Liu y Li, 2012; Chen, 2015).

En el caso de Tijuana el arbolado de los parques solo captura 0.08% del emitido por el autotransporte. Este valor es similar al reportado para Bolzano, Italia (Russo et al., 2015); y muy por debajo de Florencia, Italia (6.2%). Sin embargo, esta última estimación contempla la captura del pasto y vegetación periurbana, pero si solo se consideran los áreas verdes urbanas el valor se reduciría a 1.1% (Vaccari et al., 2013) y sería un valor más cercano al de Tijuana. Otras ciudades reportan porcentajes de captura mucho más altos como Gainesville y Miami-Dade, en EUA con 3.4 y 1.8% respectivamente (Escobedo, 2010) que además debe aclararse que consideran a las emisiones de CO₂ antropogénico.

Aunque el porcentaje de captura de CO₂ del arbolado de los parques, glorietas, camellones y otras áreas verdes de la ciudad con respecto a las emisiones vehiculares es muy bajo, si juega un papel importante en la ciudad. Su importancia radica en que además la vegetación cumple muchas otras funciones como absorber y filtrar otros contaminantes, mejorar la calidad del aire y retener el agua pluvial, entre otros (Vacarri, 2013).

Aunque no se consideró en el presente estudio debe mencionarse que también el suelo almacena carbono. De hecho, se estima que la cantidad de carbono en el suelo puede ser de 2 a 4 veces más grande que el almacenado por encima del suelo (Pouyat et al., 2006, Velasco et al, 2016). Además aunque no es muy clara la captura y almacenamiento de CO₂ bajo las superficies impermeables de los ecosistemas urbanos, algunos autores sugieren que el carbono orgánico no se descompone debido a la falta de oxígeno (Churkina, 2012) por lo que se queda atrapado y almacenado.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

La captura de CO₂ de los parques muestreados durante el 2015, fue de 263,137Kg y de 3.6 Kilogramos de CO₂/m²/año promedio considerando su cobertura arborea real durante el 2015. Ahora bien, al ampliar la información a los 240 parques de Tijuana (Escenario 1) se estimó que fueron capturadas 21,372 Toneladas de CO₂ durante el 2015.

Se encontraron 68 especies en los parques, sin embargo la población es desigual, por ejemplo solo dos especies, *Ficus benjamina* y el *Eucalyptus globulus* concentran el 38% de los individuos inventariados. La mayoría de los árboles son jóvenes, el 80% de estos tuvo un DAP menor a 30 cm lo que es positivo pues señala el potencial que le queda para captura y almacenar CO₂ durante lo que les resta de su periodo de vida.

La capacidad de captura de CO₂ varía por especie. En este estudio las especies que más capturaron fueron el *Eucalyptus globulus*, *Schinus Terebinthifolius* y *Washingtonia Robusta* y por el contrario, las que menos fueron la *Azadirachta indica*, *Callistemon citrinus* y *Nerium oleander*.

Por otro lado, las emisiones estimadas por el consumo de combustible en Tijuana durante el 2015 fueron de 2,622 Gg de CO₂, provenientes de 535, 356 vehículos, (1% de transporte público y 99% de vehículos particulares) y 2,631 Gg de CO₂e (Considerando CH₄,N₂O y CO₂).

La captura de CO₂ del arbolado de los parques de Tijuana cubre 0.08 % del emitido por los vehículos automotores. Este valor se encuentra dentro del reportado para otras ciudades del mundo (Nowak et al., 2009; Vaccari et al., 2013; Russo, 2015). Sin embargo, como se señaló en los seis escenarios elaborados, los parques aún tienen un alto potencial de aumentar la captura de CO₂, ya sea por un incremento en su superficie o en su porcentaje de cobertura arborea siguiendo los parámetros de organismos tanto nacionales como internacionales (ONU, OMS o Sedesol).

Para compensar de forma más eficiente las emisiones de la quema de combustible por medio de la vegetación urbana se recomiendan dos tipos de medidas: aumento de captura de CO₂ y mitigación de emisiones.

En lo que se refiere al aumento de captura CO₂, se sabe que los arboles leñosos son capaces de capturar y almacenar más CO₂ que las palmas debido a que su madera tiene una reducida densidad específica, que en promedio es menos de la mitad de la de los arboles leñosos (Velasco et al., 2013), de igual forma los arboles maduros de hoja perenne capturan más CO₂ (Baldocchi, 2008).

Dar prioridad en la forestación a árboles de crecimiento rápido los cuales inicialmente secuestran más CO₂ que un árbol de crecimiento lento y con ello aumentar la capacidad de captura de carbono. Sin embargo, debemos tener cuidado con esta medida ya que como indican Chaparro y Terradas (2009) esta ventaja puede perderse si los árboles de crecimiento rápido tienen una esperanza de vida corta, ya que cuando un árbol muere este deja de capturar CO₂ y si se descompone o quema lo libera (Chaparro y Terradas, 2009). Por el contrario, si con el tronco se elabora un producto maderable (muebles) de larga vida útil, como lo puede ser una mesa, esta mantendría almacenado el CO₂ más años, y con esto se podría retardar de alguna forma el periodo de re-emisión.

Es importante también considerar especies que no necesiten mucho mantenimiento tratando de reducir al mínimo las necesidades de poda y de ese modo reducir la liberación de carbono (Chaparro y Terradas, 2009). Además se debe tratar de mantener a los arboles maduros y de gran tamaño (Velasco, 2016) (DAP mayor a 30 cm) que aunque son pocos los que existen actualmente en Tijuana estos se encuentran almacenando una gran cantidad de CO₂ en su biomasa y proveen de diversos servicios ambientales.

Otra forma para aumentar la vegetación en Tijuana sería considerar la captura de CO₂ de la vegetación natural ya existente, como: el matorral costero, el chaparral y la vegetación de galería, en combinación con el resto de las áreas verdes urbanas. Dentro de estos tipos de vegetación se podría promover la producción de planta nativa dentro de los viveros con especies como: *Aesculus californica*, *Arctostaphylos manzanita*, *Brahea armata*, *Heteromeles arbutifolia*, *Juglans californica*, *Malosma laurina*, *Platanus racemosa*, *Quercus agrifolia*, *Quercus kelloggii*, *Rhus intergrifolia*, *Simmondsia chinensis*, *Umbellularia californica*, las cuales ya están adaptadas al clima y características fisiográficas de Tijuana, por lo que no necesitan mucho riego, ni gran mantenimiento, tienen mayor posibilidad de sobrevivencia y son buenas capturando CO₂ de acuerdo a la base de datos del programa i-tree design utilizado en este trabajo, al mismo tiempo

se promovería su uso, conocimiento y preservación de la vegetación de la región en la población Tijuanaense.

Cabe resaltar que la selección de especies para forestar los parques debe estar basada en las que proporcionen la mayor cantidad de servicios ambientales posibles (incluida la captura de CO₂).

En lo que se refiere a la superficie arbolada necesaria para contrarrestar las emisiones de CO₂ de los vehículos automotores, bajo las condiciones actuales, solo se lograría si el 80% del centro de población tuviera cobertura arbórea. Esto podría ser factible si se aumenta la superficie arborea apeandose a las recomendaciones tanto nacionales como internacionales (Sedesol, ONU, OMS) aumentando el arbolado urbano (público y privado) como primera acción y posteriormente creando nuevas áreas tanto dentro como en la zona periférica de la ciudad (creando un cinturón verde). Aunque sería difícil alcanzar esta superficie, si se podría aumentar mucho si se considera a las áreas verdes en general, parques, camellones, glorietas, gasas e isletas del centro de población de Tijuana. Incluso incorporar nuevas áreas como: taludes, patios traseros de casas y propiedades privadas, techos verdes, árboles en banquetas, superficie no urbanizada dentro de la mancha urbana por ejemplo: cerros, baldíos o predios sin construcción, predios de usos múltiples del ayuntamiento, zonas federales (debajo de las líneas de la Comisión Federal de Electricidad, zonas de amortiguamiento en los cuerpos de agua) y panteones, entre otros. También se pueden declarar reservas ecológicas como áreas naturales protegidas en los alrededores de la ciudad.

En el plano legal, se debe buscar que se cumpla con el mínimo recomendado por la ONU de 16 m²/habitante (Sedesol, 2010) o en su defecto que toda la población se encuentre dentro del radio de alcance de las áreas verdes que señala la Sedesol. Asimismo se debe buscar legalmente el aumentar el porcentaje de arbolado de los parques públicos tradicionales de los fraccionamientos a que tenga como mínimo, una cobertura arbórea de entre el 50 y 75 %. Esto no puede ser posible en otras áreas como el caso de los camellones, glorietas y gasas las cuales al ser infraestructura vial se tienen que respetar su normatividad particular, de forma que no obstruyan la visibilidad (Ayuntamiento de Tijuana, 2002). Tampoco lo sería para aquellas áreas que contuvieran vegetación natural.

Pero la solución a la problemática no solo es aumentar el verde urbano, este debe llevarse a cabo con seriedad, planificación y por medio de profesionales, expertos en el diseño, manejo, ejecución, mantenimiento y seguimiento.

Es importante recalcar que el arbolado urbano no es suficiente para capturar todas las emisiones de CO₂ de la atmosfera, sino que es necesario implementar a la par mecanismos de reducción de emisiones de los vehículos automotores. Para ello es indispensable que se concientice a la población.

También valdría la pena implementar medidas técnicas y legales, como el mejoramiento de la calidad de las gasolinas, la optimización del transporte público, el mantenimiento mecánico de los vehículos, la implementación del programa de verificación vehicular de forma obligatoria, disminuir el número de vehículos particulares por habitante e implementando normas de eficiencia vehicular efectiva para vehículos nuevos derivados de mejores tecnologías los cuales consuman menos combustible y con ello se emitan menos contaminantes a la atmosfera y hacer mas estrictos los parámetros de la Norma Oficial Mexicana (NOM) -163, NOM- 042, NOM-044 en cuanto a contaminantes y la NOM-EM-005-CRE-2015 que hace referencia a la calidad de los petrolíferos en cada etapa de la cadena de producción y suministro en México.

De igual forma, se presentaran en un futuro próximo, un elemento relevante en Tijuana: el mejoramiento del transporte público con la implementación de un sistema integral de transporte en Tijuana (ruta troncal) la cual se espera disminuya entre el 10 y el 15% el uso de automóviles particulares, lo que se reflejará en la disminución de las emisiones de CO₂ y en la mejora de la calidad de vida (SITT, 2015).

Finalmente, para complementar esta investigación sobre este tema, se recomienda a futuro estudiar por una parte, la captura de CO₂ del suelo y el mar (otros sumideros naturales) y las emisiones de fuentes fijas en Tijuana, que juega un papel muy importante.

BIBLIOGRAFIA

- Aguaron, Elena y E.Gregory McPherson, 2012, Comparison of methods of estimating carbon dioxide storage by Sacramento's Urban Forest, en: Carbon sequestration in urban ecosystems, EUA, pp 43-71.
- Akbari, Hashem, Melvin Pomerantz y Haider Taha, 2001, "Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas", *Solar Energy*, Elsevier, vol. 70, núm 3, pp.295-310.
- Andress, David, DeanNguyen y Sujit Das, 2011, "Reducing GHG emissions in the United States' transportation sector." *Energy for Sustainable Development*, Elsevier, vol. 15, núm. 2, Junio, pp.117-136.
- ArcGIS Pro, 2016, Métodos de clasificación estándar en ArcGIS, Environmental Systems Research Institute, en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/mapping/symbols-and-styles/data-classification-methods.htm>, consultado el 02 de Julio del 2016.
- Atiquil Haq, Shah Md., 2011, "Urban Green Spaces and an Integrative Approach to Sustainable Environment", *Revista de Protección Ambiental*, Scientific Research, vol. 2, núm. 5, Julio, pp. 601-608.
- Ayuntamiento de Tijuana, 2002, *Reglamento de vialidad para el municipio de Tijuana, B.C. y Reglamento de transporte público para el municipio de Tijuana B.C., Estado de Baja California en Periodico Oficial del Estado de Baja California, Mexicali, B.C., Gobierno Municipal*, tomo CIX, núm. 23, 31 de Mayo.
- Ayuntamiento de Tijuana e Instituto Metropolitano de planeación Urbana (IMPLAN), 2012, *Actualización del programa de desarrollo urbano del centro de población de Tijuana B.C. (PDUPT 2010-2030)*. México: Instituto Metropolitano de Planeación – Implan, en: <http://www.implantijuana.org/informaci%C3%B3n/planes-y-programas/pdupt-2010-2030/>, consultado el 07 de septiembre de 2015.
- Ayuntamiento de Tijuana, 2011, *Plan Municipal de Desarrollo 2011-2013: Vialidades en colonias e infraestructura*, XX Ayuntamiento de Tijuana en: <http://www.tijuana.gob.mx/PlanMpal2011-2013/vialidades.asp>, consultado el 09 de enero de 2016.
- Ayuntamiento de Tijuana, 2016, *Municipio Tijuana*, en:<http://www.municipios.mx/baja-california/tijuana/>, consultado el 04 de febrero del 2016.
- Baja California Gobierno del Estado (BCGE), 2015, *Tijuana Medio Físico*, Gobierno del estado de Baja California, en: http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/tijuana/medio_tij.jsp, consultado el 05 de febrero del 2016.

- Balam de la Vega, Lucila María, [Tesis de Licenciatura], 2013, “Valoración económica del servicio ambiental: captura de carbono, en la Reserva Forestal Xilitla, San Luis Potosí, México”, México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, pp.80.
- Baldocchi Dennis. ,2008, “Breathing of the terrestrial biosphere: Lessons learned from a global network of carbón dioxide flux measurement systems”, *Australian Journal of Botany*, CSIRO, vol. 56, núm. 1, Febrero, pp. 1-26.
- Baró, Francesc, Lydia Chaparro, Erik Gómez-Baggethun, Johannes Langemeyer, David Nowak, y Jaume Terradas, , 2014, “Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: The case of urban forests in Barcelona, Spain”, *Ambi*, vol. 43, núm. 4, pp. 466-479.
- Bolund, Per y Sven Hunhammar, 1999. “Ecosystem services in urban areas”. *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 29, núm. 2, pp.293–301.
- Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión, 2015, *Ley general de cambio climático*, México, en *Diario Oficial de la Federación*, Secretaría General, 13 de mayo de 2015, en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130515.pdf>, consultado el 05 de septiembre de 2015.
- Cantú Martínez Pedro Cesar, 2015, “Sustentabilidad Urbana” *Sustentabilidad Ecológica*, Ciencia UANL, año 18, núm. 74, Julio-Agosto, pp. 28-32.
- Castañeda Alejandra, 2015, *Estadística fronteriza: Flujos fronterizos y política migratoria*, Observatorio de Legislación y Política Migratoria, Colef- CNDH, Noviembre 5, en: <http://observatoriocolef.org/Articulo/497>, consultado el 09 de enero de 2016.
- Challenge, Antony, [Power Point], 2009, *Introduccion a los servicios ambientales- Seminario de divulgación servicios ambientales: sustento de vida*, SEMARNAT- INE, 7 de agosto, en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/con_eco/2009_sem_ser_amb_pres_01_achallenger.pdf, consultado el 02 de marzo del 2016.
- Chaparro, Lydia y Jaume Terradas, 2009, “Ecological services of urban forest in Barcelona.” Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals - Universidad Autònoma de Barcelona, Bellaterra España en:<<https://www.itreetools.org/resources/reports/Barcelona%20Ecosystem%20Analysis.pdf>> , consultado el 21 de junio del 2016.
- Chen, Wendy Y., 2015,” The role of urban green infrastructure in offsetting carbon emissions in 35 major Chinese cities: A nationwide estimate.” *Cities*, Elsevier, vol. 44, Abril, p. 112-120.

- Childers Daniel L., Mary L. Cadenasso, J.Morgan Grove, Victoria Marshall, Brian McGrath y Steward T.A. Pickett, 2015, “An ecology for cities: A transformational nexus of design and ecology to advance climate change resilience and urban sustainability.”, *Sustainability*, Marc A.Rosen, vol. 7, núm. 4, Marzo, pp.3774-3791.
- Christen, N.C. Coops, B.R. Crawford, R. Kellett, K.N. Liss, I. Olchovski, T.R. Tooke, M. van der Laan y J.A. Voogt, 2011, “Validation of modeled carbon-dioxide emissions from an urban neighborhood with direct eddy-covariance measurements”, *Atmospheric Environment*, vol. 45 , núm. 33, Octubre, pp. 6057–6069
- Chuanglin Colmillo, Shaojian Wang, Guangdong Li, 2015, “Changing urban forms and ethic dioxide emissions in China: A case study of 30 provincial capital cities”, *Applied Energy*, Elsevier, vól. 158, Noviembre, pp.519-531.
- Churkina, Galina , 2012 “Carbon cycle of urban ecosystems” en *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*, Springer, pp. 315-330.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMART), Instituto Nacional De Ecología y Cambio Climático (INECC), 2013, “Estrategia Nacional de Cambio Climático: Visión 10-20-40”, Gobierno de la República, México, D.F. pp.60.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor), [Pagina Web] 2012, “Aloméxico – *Modelos Alométricos de México*”, en: <http://mrv.cnf.gob.mx/index.php/es/mrv-m/areas-de-trabajo/factores-de-emision/2015-07-31-14-43-43.html>, consultado el 17 de diciembre de 2015.
- Comisión nacional para el uso eficiente de la energía (CONUEE), 2009, *Metodologías para la cuantificación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y de Consumos Energéticos Evitados por el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*, México, SENER - CONUEE, Diciembre, pp.33.
- Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado (COPLADE), 2013, “Apuntes de población de Baja California: Población de los Municipios de Baja California 2013-2030”, Julio, Mexicali, B.C., vol.2, Año. 4, en: <<http://www.copladebc.gob.mx/publicaciones/2013/Apunte%20Poblacion%20de%20los%20municipios%20de%20Baja%20California%202010-2030.pdf>> consultado el 08 de enero de 2016.
- Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado (COPLADE), 2014, “Baja California, Población de Baja California y sus municipios”, Mexicali, B.C., vol.1, núm. 5, Enero, en: <<http://www.copladebc.gob.mx/seis/pdf/apuntePoblacionBCyMunicipiosEne14.pdf>> consultado el 23 de julio de 2015.
- Congreso del Estado de Baja California, 2015, *Ley de Prevención, Mitigación y Adaptación del Cambio Climático para el Estado de Baja California*, Mexicali, Baja California, en *Periódico Oficial Núm. 25*, Tomo CXIX, 27 de marzo de 2015, pp. 19, en

<http://www.congresobc.gob.mx/legislacion/Parlamentarias/TomosPDF/Leyes/TOMO_VII/Leycamclim-2_27MAR2015.pdf>, consultado el 08 de Septiembre del 2015.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), 2006, *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático-Manual*, Dependencia de Asuntos Intergubernamentales y Jurídicos de la Secretaría del Cambio Climático, Alemania, en:http://unfccc.int/resource/docs/publications/handbook_esp.pdf, consultado el 06 de mayo del 2016.

Córdoba Hernández Rafael, 2007, “Incidencias de las competencias municipales en el Cambio Climático”. *Ciudades para un futuro más sostenible*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. Junio. Boletín CF+S 47/48. Sobre la insostenibilidad en el urbanismo, en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n47/n47-arcor.pdf>, consultado el 06 de Diciembre de 2015.

Davey Resource- Group A Division of The Davey Tree Expert Company, 2014a, "Las Cruces, New Mexico Project Area", City of Las Cruces y New Mexico State Forestry, Diciembre, en: https://www.itreetools.org/resources/reports/DesertCanopy/Las_Cruces_Community_Forest_Assessment_final_12_4_14.pdf, consultado el 28 de junio del 2016.

Davey Resource- Group A Division of The Davey Tree Expert Company, 2014b, “El paso, Texas Project Area”, City of el paso, Diciembre, en: https://www.itreetools.org/resources/reports/DesertCanopy/El_Paso_Community_Forest_Assessment_final_11.26.pdf, consultado el 01 de julio del 2016.

Davey Resource- Group A Division of The Davey Tree Expert Company, 2014c, “Albuquerque, New Mexico Project Area”, City of albuquerque, Diciembre, en: https://www.itreetools.org/resources/reports/DesertCanopy/ALB_Community_Forest_Assessment_final_12.6.14.pdf, consultado el 02 de julio del 2016.

Davey Resource- Group A Division of The Davey Tree Expert Company, 2014d, “Phoenix, Arizona Project Area”, City of albuquerque, Octubre, en: https://www.itreetools.org/resources/reports/DesertCanopy/Phoenix_Community_Forest_Assessment_1.2.15-Final.pdf, consultado el 02 de julio del 2016.

Dirección de Servicios Públicos Municipales, 2015, “Inventario del vivero municipal árboles y plantas julio del 2015”, sub-dirección de mantenimiento urbano, departamento de forestación y panteones, Sección: Vivero Municipal. 3ra. Etapa, Julio.

Doherty Tara, Melanie Murphy and Riyaz Lalani [working paper], 1997, Carbon Sequestration of Trees in City of Kitchener Parks, University of Waterloo, en: <<http://www.adm.uwaterloo.ca/infowast/watgreen/projects/library/s97carbon/final.html>> consultado el 7 de septiembre del 2015.

Doick ,Kieron, Angiolina AAlbertini, Phil Handley, Vicki Lawrence, Heather Rumble y Kenton Rogers, 2016, Valuing the urban Tress in Brdgend county Borrough, (Reporte

- tecnico), Forest Research y Treeconomics, Enero, pp.74 en: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/FR_Doick_Bridgend_iTree_Full_Report_2015.pdf/\\$FILE/FR_Doick_Bridgend_iTree_Full_Report_2015.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/FR_Doick_Bridgend_iTree_Full_Report_2015.pdf/$FILE/FR_Doick_Bridgend_iTree_Full_Report_2015.pdf), consultado el 07 de mayo del 2016.
- Dorney, John. R., Glenn R. Guntenspergen, Janet R. Keough y Forest Stearns, 1984,” Composition and structure of an urban woody plant community”. *Urban Ecology*, Elsevier, vol.8, núm.1, pp. 69-90.
- Escobedo, Francisco, Sebastian Varela, Min Zhao, John E. Wagner y Wayne Zipperer, 2010 “Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities.” *Environmental Science & Policy*, Elsevier, vol.13, núm. 5,Abril, pp. 362-372.
- Escobedo, Francisco, Timm Kroeger, y John Wagner, 2011, “Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices” *Environmental Pollution*, EUA, Elsevier, vol. 159, núm. 8-9, Agosto-Septiembre, pp. 2078–2087.
- Fernández García, Felipe, 2009, “Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid”, *Investigaciones Geográficas (Esp) Alicante, España*, núm. 49, pp. 173-180.
- Flores, Alanís Glafiro J., 2005, “El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey”, *Ciencia UANL*, Enero-Marzo, vol. 8, núm. 1, pp. 20-32.
- Forestry Commission, 2010, The case for trees – in development and the urban environment, *Forestry Commission England* ,Forest research y Tcpa, Edinburgh, pp.26, en: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/eng-casefortrees.pdf/\\$FILE/eng-casefortrees.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/eng-casefortrees.pdf/$FILE/eng-casefortrees.pdf), consultado el 07 de mayo del 2016.
- Galindo Paliza, Luis Miguel, 2008, *Estudio sobre la instrumentación de medidas de eficiencia energética y uso de biocombustible en el sector transporte y su impacto en la calidad del aire en México.*, México: Instituto Nacional de Ecología y Universidad Nacional Autónoma de México: Facultad de economía, Septiembre, en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/calaire/2008_inf_emis_costos_bioetanol.pdf, consultado el 21 de enero de 2016.
- Gómez Bilbao Daniel, 2006, “La energía y el petróleo”, Subdirección de auditoría en seguridad industrial y protección ambiental, PEMEX Refinación, México.
- Gómez Lopera, Francisco, 2005, “Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades”. *Ciudad y territorio. Estudios Territoriales.* vol. 27. núm. 144, Pp. 417-436.
- Granados-Hernández, Humberto, Bravo Álvarez, Rodolfo Sosa-Echeverría, Xicoténcatl, López- Andrade, Claudia, García-Landa y Pablo, Sánchez-Álvarez, 2015,” Consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono del sector refinación de petróleo en México de 2015 a 2030”, *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, Elsevier, México, vol.16, núm.4, Octubre-Diciembre, pp. 503-513.

- Huizar Contreras Heber, [Tesis de Maestría], 2012, “Evaluación de los parques de Tijuana desde un enfoque de justicia ambiental.” Tijuana, B. C., México, El Colegio de la Frontera Norte.
- Huizar Contreras Heber, 2014, “Una perspectiva de justicia ambiental: Tijuana” en Ojeda Revah Lina e Ileana Espejel, Coord., *Cuando las áreas verdes se transforman en paisajes urbanos*. La visión de Baja California, El Colegio de la Frontera Norte, México, pp.87-116.
- Hutyra Lucy R., Byungman Yoon y Marina Alberti, 2011, “Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: a study of the Seattle, Wa región”, *Global Change Biology*, Blackwell Publishing, volumen 17, numero 2, febrero, pp. 783-797.
- Hyun-Kil, J., 2002, “Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea”, *Journal of Environmental Management*, vol. 64, núm. 2, Febrero, pp. 115-126.
- Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México (ITDP-MÉXICO), 2012, Transformando la movilidad urbana en México: Hacia ciudades accesibles con menor uso del automóvil, ITDP y Embajada Británica, México, DF., en: <file:///C:/Users/Yurendy/OneDrive/COLEF%20TESIS/TRANSPORTE/Transformando-la-movilidad-urbana-en-Mexico2.pdf>, consultada el 20 de enero del 2016.
- Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN), 2010, “Programa de desarrollo urbano del centro de población Tijuana, B.C.2008-2030, PDUCP T 2010-2030”XIX Ayuntamiento de Tijuana, Junio, p.5 en: <http://www.implantijuana.org/informaci%C3%B3n/planes-y-programas-1/pducpt-2010-2030/>, consultado el 29 de mayo del 2016.
- Instituto metropolitano de planeación de Tijuana (IMPLAN), 2014, “Sistema de parques urbanos, corredores y áreas verdes metropolitano”, Primera fase –Base de datos de Tijuana, Gobierno del estado de Baja California, Tijuana Baja California.
- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 2014, “factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles que se consumen en México”, Tercer Informe-Final, Dirección de Servicios de Ingeniería Gerencia de Servicios en Ingeniería Región Centro Norte F.61157.02.005, Agosto.
- Instituto Nacional de Ecología (INE), 2006, “Taller sobre emisiones vehiculares en México”, Centro de transporte sustentable, INE, en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/memorias_final_taller.pdf, consultado el 04 de Mayo de 2016.
- Instituto Nacional de Ecología (INE), 2010, ¿Qué se está haciendo para mitigar el cambio climático?, en: <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/comprendercc/qsehaceparamitigarelcc/ambitonacional.html>, consultado el 16 de Noviembre de 2015.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INECC y SEMARNAT), 2011, “Estudio de emisiones y actividad vehicular en Baja California, México. Reporte Final.” INECC- DGICUR- DICA, México, pp.105.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC/Semarnat, México, en: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero> , consultado el 03 de julio del 2016.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2012a, Programas Municipales, obtenido de: <http://www.adaptacion.inecc.gob.mx/politicas-de-adaptacion/politica-subnacional/pacmun> el 17 de noviembre de 2015.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2012b, Bases para una estrategia de desarrollo bajo en emisiones en México, Semarnat-INECC, México DF, en: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/ine-ecc-ec-02-2012.pdf>, consultado el 23 de enero de 2016.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2014, “Información y herramientas para la estimación de emisiones vehiculares”, Semarnat-INECC, México DF, en: <http://www.inecc.gob.mx/dica/528-calaire-diag-fuentes-moviles>, consultado el 04 de Mayo de 2016.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [cuaderno electrónico], 2006, Tijuana, Baja California. Cuaderno estadístico municipal, en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/productos>, consultado el 18 de febrero de 2016.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2009, Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Tijuana, Baja California, clave geoestadística 02004, en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/02/02004.pdf>, consultado el 18 de febrero del 2016.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2014a, “Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación”, en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/transporte/vehiculos.asp?s=est&c=13158&proy=vmrc_vehiculos, Consultado el 22 de mayo de 2015.

Instituto Nacional de Estadísticas (INEGI), 2014b, Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación, en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/transporte/vehiculos.asp?s=est&proy=vmrc_vehiculos, consultado el 22 de Mayo de 2015.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2015, “Vehículos de motor registrados en circulación” (Base de datos), INEGI en_

http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?proy=vmr_c_vehiculos, consultado el 22 de mayo del 2016.

International panel of climate change (IPCC), 2003, *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)*, Organización Meteorológica Mundial, Génova, Suiza, p. 15, en: https://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_natcom/training_material/methodological_documents/application/pdf/11-bis-handbook-on-lulucf-sector.pdf, consultado el 07 de febrero del 2016.

International panel of climate change (IPCC), 2006, “Combustión Móvil” dentro del Capítulo 3, del Volumen 2: Energía, IPCC, en: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf, consultado el 05 de mayo del 2016.

International panel of Climate Change (IPCC), 2006, “Combustión Móvil” dentro del Capítulo 3, del Volumen 2: Energía, IPCC, en: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf, consultado el 05 de mayo del 2016.

International panel of climate change (IPCC), 2007, “Fourth Assessment Report, Technical Summary-Changes in human and Natural drivers of climate, en: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-ts.pdf>, consultado el 03 de enero del 2016, pp.23-35.

International panel of climate change (IPCC), 2012, Glossary of terms. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, y P.M. Midgley (eds.)], A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, EUA, pp. 555-564.

International panel of climate change (IPCC), 2013, *Cambio Climático 2013: Bases físicas-Resumen para responsables de políticas*, OMM-PNUMA, Noruega, p.16.

Jáuregui, O.E., 1981, *Climatología de Difusión de la Ciudad de Tijuana*, B.C. Boletín del Instituto de Geografía- Universidad Nacional Autónoma de México, núm 11. México, D.F.

Jenkins, Jennifer C.; Chojnacky, David C.; Heath, Linda S.; Birdsey, Richard A., 2004, *Comprehensive database of diameter-based biomass regressions for North American tree species*, Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, Julio, pp. 45, en: http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/technical_reports/pdfs/2004/ne_gr319.pdf?, consultado el 07 de febrero del 2016.

- Jo Hyun-kil, 2002, "Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle korea", *Journal of environmental management*, vol. 64, pp. 115-126, en: http://ac.els-cdn.com/S0301479701904918/1-s2.0-S0301479701904918-main.pdf?_tid=8968c7fe-43f3-11e6-807f-00000aacb360&acdnat=1467862574_f77d88ec9aac7c1aa6eb0cac328e7151, consultado el 02 de julio del 2016.
- Johnson Andra D. y Henry D. Gerhold, 2003, "Carbon storage by urban tree cultivars, in roots and above ground", *Urban Forestry y Urban Greening*, Elsevier, vól.2, núm.2, pp.65-72.
- Kenton Rogers, Keith Sacre, Jessica Goodenough y Kieron Doick, 2015, "Valuing London's Urban forest- Result of the London i-tree Eco Project", *i-tree*, Treeconomics London, pp.83, en [:https://www.itreetools.org/resources/reports/Valuing_Londons_Urban_Forest.pdf](https://www.itreetools.org/resources/reports/Valuing_Londons_Urban_Forest.pdf), consultado el 07 de mayo del 2016.
- Lashof, Daniel y Dilip R. Ahuja, 1990, "Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming", *Nature*, vol. 344, Abril, pp. 529-531.
- Liu, Changfu y Li Xiaoma, 2012, "Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China", *Urban Forestry & Urban Greening*, Elsevier, vol. 11, núm., pp. 2, 121-128.
- Le Quéré, R. Moriarty , R. M. Andrew , J. G. Canadell , S. Sitch , J. I. Korsbakken , P. Friedlingstein , G. P. Peters , R. J. Andres , T. A. Boden , R. A. Houghton , J. I. House , R. F. Keeling , P. Tans, A. Arneeth, D. C. E. Bakker, L. Barbero, L. Bopp, J. Chang , F. Chevallier, L. P. Chini, P. Ciais, M. Fader, R. A. Feely, T. Gkritzalis, I. Harris , J. Hauck, T. Ilyina, A. K. Jain, E. Kato, V. Kitidis, K. Klein Goldewijk, C. Koven, P. Landschützer, S. K. Lauvset, N. Lefèvre, A. Lenton, I. D. Lima, N. Metzl, F. Millero, D. R. Munro, A. Murata, J. E. M. S. Nabel, S. Nakaoka, Y. Nojiri, K. O'Brien, A. Olsen, T. Ono, F. F. Pérez, B. Pfeil, D. Pierrot, B. Poulter, G. Rehder, C. Rödenbeck, S. Saito , U. Schuster , J. Schwinger, R. Séférian, T. Steinhoff, B. D. Stocker, A. J. Sutton, T. Takahashi, B. Tilbrook, I. T. van der Laan-Luijkx, G. R. van der Werf, S. van Heuven , D. Vandemark, N. Viovy, A. Wiltshire, S. Zaehle, y N. Zeng, 2015, "Global carbon budget 2015", *Earth System Science Data*, Copernicus Publications, vol. 7, núm 2, pp. 349-396.
- Martínez-González Lorena y Alicia Chacalo-Hilú, 1994, *Los árboles de la ciudad de México*, Universidad Autónoma de Metropolitana, unidad Azcapotzalco, México, D.F. pp.351.
- McHale, I.C. Burke, M.A. Lefsky, P.J. Peper y Gregory Mcpherson, 2009, "Urban forest biomass estimate: is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees?.", *Urban Ecosystem*, Springer, vol. 12, Enero, pp.95-113.
- McPherson Gregory E., Qingfu Xiao y Elena Aguaron, 2013, "A new approach to quantify and map carbon stored, sequestered and emissions avoided by urban forest", *Landscape and Urban Planning*, Elsevier, Diciembre, vol. 120, pp.70-84.

- McPherson Gregory E., Klaust Scott, y James Simpson, 1998, "Estimating cost effectiveness of residential yard trees for improving air quality in Sacramento, California, using existing models", *Atmospheric Environment*, Gran Bretaña, Elsevier, vol.32, núm 1, pp. 75–84.
- McPherson, Gregory E., 1998, "Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest", *Journal of Arboriculture*, vol. 24, núm. 4 pp. 215-223, en:<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.155.764&rep=rep1&type=pdf>, consultado el 26 de enero del 2016.
- McPherson, Gregory E. y James Simpson, 1999, *Carbon dioxide reduction through urban forestry: guidelines for professional and volunteer tree planters.*, Albany, California, U.S. USDA - Forest Service - Pacific Southwest Research Station, pp.237, en: <http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/gtr-171/gtr-171.pdf?>, consultado el 21 de junio del 2016.
- McPherson, Gregory E., James R. Simpson, Paula J. Peper, Scott E. Maco, Shelley L. Gardner, Shauna K. Cozad y Qingfu Xiao, 2005, *City of Minneapolis, Minnesota Municipal Tree Resource Analysis.*, Center For Urban Forest Research - Usda Forest Service - Pacific Southwest Research Station, Junio, en: <https://www.itreetools.org/resources/reports/Minneapolis%20Municipal%20Tree%20Resource%20Analysis.pdf>, consultado el 01 de julio del 2016.
- Medina Ramirez, Salvador e Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México, 2012, *La importancia de reducción del uso del automóvil en México: Tendencias de motorización, del uso del automóvil y de sus impactos*, México DF, ITDP - Embajada Británica, Octubre, en: <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Importancia-de-reduccion-de-uso-del-auto.pdf>, consultado el 23 de enero del 2016.
- Mijangos Hernández Angélica Itai, [Tesis de licenciatura], 2015, "Estimacion del contenido y captura de carbono en la biomasa arbórea del Bosque de San Juan Aragón", Distrito Federal, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, pp.56.
- Millward, Andrew y Sabir Senna, 2011, "Benefits of a forested urban park: What is the value of Allan Gardens to the city of Toronto, Canada?" *Landscape and urban planning*, El sevier, vol. 100, núm 3, Abril, pp. 177-188.
- Mungaray Moctezuma, Alejandro y Jose Maria Ureña Francés, 2015, "El papel de las redes de caminos en los desplazamientos laborales trasfronterizos de Tijuana a San Diego", *Región y Sociedad*, año 27, número 64, pp. 71-108, en: <http://regionysociedad.colson.edu.mx:8085/index.php/rys/article/view/311/211>, consultado el 02 de mayo del 2016.
- Muñoz Meléndez Gabriela, Eliseo Díaz González, Héctor Enrique Campbell Ramírez, Margarito Quintero Núñez, 2012, *Baja California: Perfil Energético 2010-2020.*, USAID, México, pp.191.

- Nowak, David, 1993, “Atmospheric carbon reduction by urban trees” *Journal of environmental management*, Elsevier, vol. 37, núm. 3, Marzo, pp. 207-217.
- Nowak David y Daniel Crane, 2002, “Carbon storage and sequestration by urban trees in the United State American”, *Environmental Pollution*, Elsevier, vol. 116, pp. 381–389.
- Nowak David, Daniel Crane y Jack Stevens, 2006, “Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States”, *Urban Forestry and Urban Greening*, EUA, Elsevier, vol. 4, pp. 115–123.
- Nowak, David J.; Hoehn, Robert E., Hoehn III; Crane, Daniel E.; Stevens, Jack C. y Walton, Jeffrey T., 2007,” Assessing urban forest effects and values, Philladelphia's urban forest. Resour”, Syracuse, New York, U.S. Department of Agriculture - Forest Service - Northern Research Station., Febrero, en: http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/rb/rb_nrs007.pdf, consultado el 01 de julio del 2016.
- Nowak, David, Daniel Crane, Stevens Jack, Hoehn Robert, Walton Jeffrey y Bond Jerry, 2008, “A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services”. *Arboriculture and Urban Forestry*, International Society of arboriculture, noviembre, vol. 34, núm. 6, pp. 347–358, en:http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2008/nrs_2008_nowak_001.pdf?, consultado el 07 de mayo del 2016.
- Nowak David J., Robert E. Hoehn, Daniel E. Crane, Jack C. Stevens y Cherie Leblanc Fisher, 2009, “Chicago’s Urban Forest”, UFORE - USDA, Septiembre, en: <https://www.itreetools.org/resources/reports/Chicago's%20Urban%20Forest.pdf>, consultado el 25 de junio del 2016.
- Nowak, David J., Allison R. Bodine, Robert E. Hoehn III, Edgar Christopher B. Edgar, Dudley R. Hartel, Tonya W. Lister y Thomas J. Brandeis ,2016, "Austin's Urban Forest, 2014", U.S. Forest Service, Febrero, en: https://www.itreetools.org/resources/reports/Austins_Urban_Forest_report.pdf, consultado el 01 de julio del 2016.
- Ojeda Revah, Lina y Álvarez Guadalupe, 2000, “La reforestación de Tijuana, Baja California como un mecanismo de reducción de riesgos naturales”, *Estudios Fronterizos*, Redalyc, vol. 1, núm. 2, Julio-Diciembre, pp.9-31.
- Ojeda Revah Lina e Ileana Espejel, 2014, Coord., *Cuando las áreas verdes se transforman en paisajes urbanos*. La visión de Baja California, El Colegio de la Frontera Norte, México, pp. 272-279.
- Olivier Jos, John Van Aardenne, Frank Dentener, Laurence Ganzeveld, Jeroen Peters, 2005, “Recent trends in global greenhouse gas emissions: regional trends 1970-2000”, *Environmental Sciences*, Taylor & Francis, vol. 2, núm. 2-3, pp. 81-99.

Organización de las Naciones Unidas- Habitat (ONU-Habitat), 2015, *Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015*, Senado de la República, Grupo Mexicano de parlamentarios para el Habitat, México, Abril, pp.30 en: <http://www.onuhabitat.org/Reporte%20Nacional%20de%20Movilidad%20Urbana%20en%20Mexico%202014-2015%20-%20Final.pdf>, consultado el 27 de mayo del 2016.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ,1999. *Creación y Fortalecimiento de Sumideros de Carbono*, en: <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/es/lead/toolbox/Grazing/CarbSiEA.htm>, consultado el 03 de Noviembre de 2015.

Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2013, “Boletín sobre los gases de efecto invernadero”, OMM - Global Atmosphere Watch, núm. 9, Noviembre, p.2, en: https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHG_Bulletin_No.9_es.pdf, consultado el 11 de enero del 2016.

Organización Mundial de la Salud (OMS), 2012, “La gran diferencia de m² de áreas verde por persona en Latinoamérica, Fundación Mi Parque”, en <<http://www.miparque.cl/la-gran-diferencia-de-m2-de-areas-verde-por-persona-en-latinoamerica/>>, consultado el 17 de junio de 2015.

Pardos, José Alberto, 2010, “Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global”, Madrid, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria - Alimentaria Ministerio de Ciencia e Innovación, Junio, p. 253, en: http://www.inia.es/gcontrec/pub/60587OT_LIBRO_WEB_1277883079734.pdf, consultado el 22 de enero del 2016.

Petróleos Mexicanos (PEMEX), 2014, “Anuario estadístico 2014”, PEMEX, pp.80 en: http://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/2014_ae_00_vc_e.pdf, consultado el 17 de mayo del 2016.

Picard Nicolas, Saint-André Laurent y Henry Matieu, 2012, “Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción”, Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Rome, Montpellier, Agosto, pp.223.

Pouyat, Richard V., , Ian D. Yesilonis y David J.Nowak, 2006, “Carbon storage by urban soils in the United States.” *Journal of environmental quality*, vol. 35, núm. 4, p. 1566-1575.

Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire), 2012, “Programa para Mejorar la Calidad del Aire, de la Zona Metropolitana de Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito 2012-2020”, Baja California, México, pp. 179.

Programa Mexicano del Carbono, A.C. (PMC), 2015, Manual de Procedimientos Inventario de Carbono+. Estudio de Factibilidad Técnica para el Pago de Bonos de Carbono en el Estado

- de México (RETUS con BASES EDOMEX). Coordinador: Fernando Paz Pellat. Colaboradores: Fabiola Rojas-García y Julio Cesar Wong González. Texcoco, Estado de México. 45 p.
- Quiñónez Collazos, Lina Yazmín, [Tesis de Maestría], 2010, “Gestión forestal urbana como mecanismo de captura de carbono en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá D.C.”, Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de estudios ambientales y rurales, pp.161.
- Quiroz Benítez, Diana Esmeralda, 2013, Las ciudades y el cambio climático: el caso de la política climática de la Ciudad de México, *Estudios Demográficos y Urbanos*, El Colegio de México, A.C., Distrito Federal, México, vol. 28, núm. 2, Mayo-Agosto, pp. 343-382.
- Revi, A., D.E. Satterthwaite, F. Aragón-Durand, J. Corfee-Morlot, R.B.R. Kiunsi, M. Pelling, D.C. Roberts, y W. Solecki, 2014, *Urban areas, en: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.*, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y New York, NY, EUA, pp. 573-574.
- Reyes Avilés, Isabel y Juan José Gutiérrez Chaparro, 2010, “Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca”. *Quivera*, Universidad Autónoma del Estado de México *Toluca México*, vol.12, núm. 1. Enero-Junio, pp. 96-102.
- Rowntree, Rowan y David Nowak, 1991, “Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide”, *Journal of arboriculture*, vol. 17, núm. 10, pp. 269-275.
- Ruiz Andrade, José Gabriel, Omaira Cecilia Martínez Moreno y Ricardo Verján Quiñones 2015, “Valoración de atributos culturales e históricos en la imagen promocional de la ciudad de Tijuana como destino turístico”, *El Periplo Sustentable*, Universidad Autónoma del Estado de México, núm. 28, Enero – Junio, pp. 31-58.
- Russo Alessio, Francisco J. Escobedo, NileshTimilsina y Stefan Zerbe, 2015, “Transportation carbon dioxide emission offsets by public urban trees: A case study in Bolzano, Italy.”, *Urban Forestry & Urban Greening*, Elsevier, vol. 14, núm. 2, pp. 398-403.
- Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), 1999, “Sistema Normativo de Equipamiento Urbano”, *TOMO V. Recreación y Deporte*, México, D.F, Sedesol, Subsecretaria de desarrollo urbano y vivienda, Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, pp.87.
- Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), 2010, “Documento Diagnóstico de Rescate de Espacios Públicos”, México, D.F, Secretaria de desarrollo social, Mayo, p.14, en:

http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Sedesol/sppe/dgap/diagnostico/Diagnostico_PREP.pdf, consultado el 28 de abril del 2016.

Secretaría de Energía (SENER), 2015, *Volumen de ventas internas de Petrolíferos por entidad federativa*. Petróleos Mexicanos. Sistema de Información Energética, en: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cveca=PMXE2C03>, consultado el 03 de Noviembre de 2015.

Secretaría de Energía (SENER), 2016, *Volumen de ventas internas de Petrolíferos por entidad federativa*. Petróleos Mexicanos. Sistema de Información Energética, en: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&subAction=applyOptions>, consultado el 26 de Julio del 2016.

Secretaría de Medio Ambiente e Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE), 2006, “Capítulo 5 Vehículos automotores en: Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999”, México, INE-SEMARNAT, septiembre, p.45

Secretaría de Medio Ambiente e Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE), 2010, “México. Cuarta comunicación Nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático”, SEMARNAT-INE, México, p.274

Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales (SEMARNAT), 2012, “Programa estatal de acción ante el cambio climático de baja california”, Semarnat, INE y Gobierno del estado de Baja California, Diciembre, pp.233, en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001769.pdf>, consultado el 18 de mayo del 2016.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), 2014, “Teoría y conceptos generales para elaborar inventarios verificables de emisiones de gases de efecto invernadero”, Semarnat, p.95, en: <http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/fomento/documentos/2014/guia-inventarios-gei.pdf>. Consultado el 07 de enero de 2015.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Western Governors’ Association, 2007, *Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*, México: Instituto Nacional de Ecología (INE), en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/2007_guia_moviles.pdf

Seed Consulting Service, 2016, *Tree Ecosystem Services Assesment, Ridge Park - A report prepared for the city of Unley, South Australia* en: https://www.itreetools.org/resources/reports/RidgePark_Unley_AU_618_EcoReport_Final118May2016.pdf, consultado el 20 de Julio del 2016.

Siegenthaler, U. y Sarmiento, J.L., 1993, “Atmospheric carbon dioxide and the ocean”, *Nature*, septiembre, núm. 365, pp. 119-125.

- SITT- Sistema Integral de Transporte Tijuana, 2016, *Beneficios del sistema integral de transporte Tijuana*, SITT Sistema Integral de Transporte Tijuana, Freamer creative, en: <http://www.sitt.org.mx/inicio/beneficios/>, consultado el 21 de julio del 2015.
- Solís Ávila Juan Carlos y Claudia Sheinbaum Pardo, 2016, “Consumo de energía y emisiones de CO₂ del autotransporte en México y escenarios de mitigación.”, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, vol. 32, núm. 1, pp.7-23, en: <http://132.248.8.213/rica/index.php/rica/article/view/46111/46546>, consultado el 01 de febrero de 2016.
- Souter Nicholas J., Richard A. Watts, Melissa G. White, Amy K. George, Kate J. McNicol, 2010,” A conceptual model of tree behaviour improves the visual assessment of tree condition, Ecological Indicators”, *Ecological Indicators*, Australia, Elsevier, vol. 10, núm. 5, Septiembre , pp. 1064-1067.
- Stoffberg, Gerrit Hendrik, Van Rooyen, Margaretha, Van der Linde, M.J. y Groeneveld, H.T. 2010, “ Carbon sequestration estimates of indigenous street in the City of Tshwane, South Africa”, *Urban forest and urban greening*, Elsevier, vol.9, núm. 1, pp. 9-14.
- Strohbach, Michael, Eric Arnold, Dagmar Haase, 2012, “The carbon footprint of urban green space—A life cycle approach”, *Land scape and Urban Planning*, Elsevier, vol. 105, núm. 4, Abril, pp. 445.
- Subdirección comercial PEMEX (2015), “Directorio de estaciones de servicio y estaciones de autoconsumo”, Octubre, en: <http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=11&catID=212>, consultado el 17 de mayo del 2016.
- Tang Yujia, Anping Chen y Shuqing Zhao, 2016 ,“Carbon Storage and Sequestration of Urban Street Trees in Beijing, China.”, *Frontier, Ecology and Evolution*, vol. 4, artículo 53, Mayo, pp.1-8.
- The Sustainable Transport and Emissions Services Company (TSTES), 2008, “Informe final del: Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas de la frontera norte. Fase 1: Tijuana y Mexicali.”, INE-DGICUR-DICA, Febrero, pp. 4-49.
- Torres Rojo Juan Manuel y Alejandro Guevara Sanginés, 2007, *El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico*, Instituto Nacional de Ecología y SEMARNAT, México, en:<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/63/cap3.html>, consultado el 10 de mayo del 2016.
- Ulrich, Roger S, 1979. “Visual landscapes and psychological wellbeing”. *Landscape Research*, vol. 4, núm. 1, pp.17–23.

- Unidad de Enlace Transformación Industrial Pemex, 2016, “Ventas realizadas a las estaciones de servicio ubicadas en el municipio de Tijuana Baja California en el periodo del 1 de enero al 31 de diciembre de 2015” Dirección de Comercialización de PEMEX transformación industrial, Ciudad de México, 04 de Mayo del 2016.
- United Nations Environment programme (UNEP), 2009, “Climate in Peril: A popular guide to the latest IPCC reports”, Kenya, UNEP y GRID-ARENDAL, pp.14-23, en: <http://www.unep.org/pdf/0903ClimateInPerilfinaldraft.pdf>, consultado el 11 de enero de 2016.
- Urquiza García, Juan Humberto, 2015, “Miguel Ángel de Quevedo y el proyecto de conservación hidrológica forestal de las cuencas nacionales de la primera mitad del siglo XX, 1900-1940”, *Historia Caribe*, vol. 10, núm. 26, Enero-Junio, pp. 211-255.
- U.S. Forest Service, 2010, “i-Tree Ecosystem Analysis Washington, Urban Forest effects and values”, i-Tree y UFORE, Enero, en: <https://www.itreetools.org/resources/reports/Washington%20DC%20Analysis%202010.pdf>, consultado el 01 de julio del 2016.
- Vaccari Francesco Primo, Beniamini Gioli, Piero Toscano y Camila Perrone, 2013, “Carbon dioxide balance assessment of the city of Florence (Italy), and implications for urban planning”, *Land Scape y Urban Planning*, Elsevier, vol. 120, Diciembre, pp. 138–146.
- Vázquez Gonzáles Lilia Betania y Gabriela Muñoz Meléndez, 2012, *Inventario de Gases efecto invernadero del estado de baja california- periodo (1990-2005)*, El colegio de la Frontera Norte, Marzo, pp.131.
- Velasco, Erik y Matthias Roth, 2010, “Cities as net sources of CO₂: Review of atmospheric CO₂ exchange in urban environments measured by eddy covariance technique.” *Geography Compass*, vol.4, núm.9, Septiembre, pp. 1238-1259.
- Velasco, Erik, Roth, M., Tan, S. H., Quak, M., Nabarro, S. D. A., y L.Norford, 2013, “The role of vegetation in the CO₂ flux from a tropical urban neighbourhood”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 13, pp. 10185-10202, en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.648.4283&rep=rep1&type=pdf>, consultado el 29 de junio del 2016.
- Velasco, Erik, Matthias Roth, Leslie Norford y Luisa T. Molina, 2016, “Does urban vegetation enhance carbon sequestration?” *Landscape and Urban Planning*, Elsevier, vol. 148, Abril, pp. 99-107.
- Verdaguer Viana-Cárdenas, Carlos; Fariña Tojo, José; Luxan García de Diego, Margarita de; Gómez Muñoz, Gloria; Román López, María Emilia; Velázquez Valoria, Isabela y Sanz Alduán, Alfonso, 2015, *Medidas para la mitigación y la adaptación al cambio climático en el planeamiento urbano. Guía metodológica*, Federación española de Municipios y Provincias (FEMP) Red española de Ciudades por el Clima, Madrid, pp. 208.

- Wang Weng y Diane Pataki, 2010, “Spatial patterns of plant isotope tracers in the Los Angeles urban region”, *Landscape Ecology*, Springer, vol. 25, Agosto, pp.35-52.
- Weissert, L. F., Salmond, J. A., y Schwendenmann Luitgard, 2014, “A review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO 2 emissions”, *Urban Climate*, Elsevier, vol.8, pp.100-125.
- World Energy Council, 2014, [Publicacion Digital], Apertura del Mercado de Petroliferos, Sexto congreso anual, en : http://www.wecmex.org.mx/presentaciones/6CongresoAnual/3-Apertura_del_mercado_de_petroliiferos.pdf, consultado el 15 de junio del 2016.
- World Meteorological Organization (WMO), (sin año), “Climate change: Causes of climate change”, World Meteorological Organization, Switzerland, en: http://www.wmo.int/pages/themes/climate/causes_of_climate_change.php, consultado el 02 de enero de 2016.
- Wu Jianju, 2014,” Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions”, *Landscape and Urban Planning*, Elsevier, vol. 125, Mayo, pp. 209-221.
- Yajie, Dong, Beicheng Xia y Weidong Chen, 2014, “Carbon footprint of urban areas: An analysis based on emission sources account model”, *Environmental Science y Policy*, Elsevier, vol. 44, Diciembre, pp.181-189.
- Yang, Jun, Joe McBride, Jinxing Zhou, y Zhenyuan Sun, 2005, “The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction”, *Urban Forestry and Urban Greening*, Elsevier, vol. 3, núm.2, Enero, pp. 65–78.
- Young, Robert. F., 2010, “Managing municipal green space for ecosystem services”, *Urban Forestry and Urban Greening*, Elsevier, vol. 9, pp.313–321.
- Zhao Min, Zhen-Hong Kong, Francisco Escobedo, y Jun Gao, 2010, “Impacts of urban forests on offsetting carbon emissions from industrial energy use in Hangzhou, China”, *Journal of Environmental Management*, ELSEVIER, vol. 91, núm.2, Marzo- Abril, pp.807–813.
- Zhao Chang, Heather Sander, (2015), “Quantifying and Mapping the Supply of and Demand for Carbon Storage and Sequestration Service from Urban Trees.” *PLOS ONE*, Estados Unidos, Ben Bond-Lamberty, DOE Pacific Northwest National Laboratory, vol. 8, núm. 10, Agosto, pp.1-31.

GLOSARIO

Alometría: Relación estadística, a escala de una población, entre dos características de tamaño de los individuos de dicha población (Picard et al., 2012).

Biomasa: Masa de la materia orgánica viva o muerta de un organismo, expresada en masa de materia seca. Para un árbol, la unidad de medida es el kg o sus múltiplos (Picard et al., 2012).

Bióxido de carbono (CO₂): El bióxido de carbono no atenta contra la salud pero es un gas con importante efecto invernadero que atrapa el calor de la tierra y contribuye seriamente al calentamiento global (Semarnat, 2007).

Captura de carbono: Dioxido de carbono (CO₂) removido del aire por las plantas (Kenton et al., 2015)

Calentamiento Global: Es el incremento a largo plazo en la temperatura promedio de la atmósfera. Se debe a la emisión de gases de efecto invernadero que se desprenden por actividades del hombre (Congreso del Estado de Baja California, 2015).

Cambio Climático: Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (Congreso del Estado de Baja California, 2015).

CO_{2e}: Dióxido de carbono equivalente, Unidad universal de medida que indica el potencial de calentamiento global (PCG) de cada uno de los siete gases de efecto invernadero, expresado en términos del PCG de una unidad de bióxido de carbono. Se utiliza para evaluar la liberación (o el evitar la liberación) de diferentes gases de efecto invernadero respecto de un común denominador (Semarnat, 2014).

Gases de efecto invernadero: son gases traza en la atmosfera que absorben y emiten radiación de onda larga. Cada uno de estos gases tiene una capacidad diferente de atrapar el calor en la atmosfera denominado potencial de calentamiento global (IPCC, 2007).

Factor de emisión: cocientes calculados que relacionan las emisiones de un gas de efecto invernadero con una medida de actividad en una fuente de emisión (Semarnat, 2014).

Mitigación: Medida ambiental destinada a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero o incrementar su captura (Congreso del Estado de Baja California, 2015).

Potencial de calentamiento mundial (PCM): El dióxido de carbono es la unidad de base con la que se compara a todos los demás gases de efecto invernadero y, por tanto, tiene un valor PCM de exactamente 1. El PCM se calcula para un periodo específico de tiempo, por lo general 20, 100 o 500 años (IPCC, 2007).

Sumidero: Cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe de la atmósfera un gas de efecto invernadero, uno de sus precursores o un aerosol (Congreso del Estado de Baja California, 2015).

Vehículo automotor: fuente móvil motorizada con autorización para circular por caminos públicos, alimentado con gasolina o diésel (SEMARNAT-INE, 2006).

ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de parques de acuerdo a SEDESOL

TIPO	POBLACION DE SERVICIO	SUPERFICIE	RADIO DE SERVICIO URBANO	POBLACIÓN ATENDIDA	REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA	TIPO DE VIALIDAD
Jardín Vecinal	5,000 Habitantes	10,000;7,000 y 2,500 m ²	350 m	10,000 / 7,000 /2,500 Habitantes	Agua potable, recolección de basura, alumbrado público, drenaje, energía eléctrica.	Vialidad local y principal
Parque de Barrio	10,000 Habitantes	44,000; 30,800 y 11,000 m ²	670 m	40,000/ 28,000 / 10,000 Habitantes	Agua potable, recolección de basura, alumbrado público, drenaje, pavimentación y es recomendable transporte público.	Andador peatonal, avenida secundaria, vialidad local y vialidad principal.
Parque Urbano	50,000 Habitantes	72.8, 18.2 y 9.1 Hectáreas	El centro de población, la ciudad. (radio de servicio regional recomendable 30 km -60 minutos)	400,000 /100,000 /50,000 Habitantes	Agua potable, energía eléctrica, recolección de basura ,transporte público.(recomendable drenaje, alcantarillado, alumbrado público, teléfono, pavimentación)	Avenida secundaria, avenida principal y vialidad regional. (recomendable autopista urbana)

*Fuente: Elaboración propia basada en el sistema normativo de equipamiento urbano, Tomo 5 Recreación y deporte, SEDESOL (1999).

Anexo 2. Cuadro de operalización de variables usadas

Objetivo específico	Concepto clave	Dimensión	Sub dimensión	Variable	Indicadores	Instrumento
Estimar la captura de carbono del arbolado urbano	Sumidero de carbono	Ambiental	Vegetación Urbana	Cantidad de CO ₂ almacenado	Numero de Arboles / m ²	Inventario
					Kg de materia orgánica / m ²	Inventario
					% de cobertura vegetal / m ²	Inventario e información bibliográfica
					Superficie del parque en m ²	Inventario
Estimar las emisiones de carbono de los vehículos automotores	Fuente de carbono	Antropogénica	Emisiones de fuentes móviles	Volumen generado de CO ₂	Kg de CO ₂ provenientes de Diésel (combustionado)	Base de datos
					Kg de CO ₂ provenientes de la Gasolina Premium (combustionada)	Base de datos
					Kg de CO ₂ provenientes de la Gasolina Magna (combustionada)	Base de datos

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3. Formato usado para recabar los datos para el inventario de los arboles presentes en parques muestreados

INSTRUMENTO-INVENTARIO

Nombre:	% de pasto	% de arboles	% de vegetación	Estado del parque	Comentarios:
Categoría:					
Delegación:	%de juegos	% de arbustos	% de construcción	Estado de la vegetación	
Parque núm.:					

ID	Nombre	DAP (cm)	Altura(m)	Copa (m)	ID	Nombre	DAP (cm)	Altura(m)	Copa (m)
1					26				
2					27				
3					28				
4					29				
5					30				
6					31				
7					32				
8					33				
9					34				
10					35				
11					36				
12					37				
13					38				
14					39				
15					40				
16					41				
17					42				
18					43				
19					44				
20					45				
21					46				
22					47				
23					48				
24					49				
25					50				

Anexo 4. Especies utilizadas en los parques de Tijuana

Nombre común	Nombre científico	Familia	Nombre común	Nombre científico	Familia
Acacia	<i>Acacia longifolia</i>	Mimosacea	Maguey	<i>Agave deserti</i>	Amariliacea
Aguacate	<i>Persea sp</i>	Lauracea	Mirto	<i>Myrtus communis</i>	Mirtacea
Álamo plateado	<i>Populus alba</i>	Salicacea	Nochebuena	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	Euphorbiacea
Álamo criollo	<i>Populus sp</i>	Salicacea	Obelisco	<i>Hibiscus rosasinensis</i>	Malvacea
Algarrobo	<i>Ceratonia siliqua</i>	Leguminosa	Olmo	<i>Ulmus parvifolia</i>	Ulmaceas
Arce	<i>Platanus caducifolio</i>	Plantacea	Palma Washington	<i>Washingtonia robusta</i>	Palmae
Benjamina	<i>Ficus benjamina</i>	Moracea	Pasto San Agustín, Tall festuca	<i>Stenotaphrum secundatum</i>	Graminea
Botella	<i>Brachychiton populneus</i>	Esterculiaceas	Pinguica	<i>Arcatostaphylos pungens</i>	Ericácea
Buganvilia	<i>Bougainvillea sp</i>	Nigtaginacea	Pinos	<i>Pinus radiata, P. piña, P. halepensis</i>	Pinácea
Brocha cepillo	<i>Callistemon citrinus</i>	Mirtacea	Pirul California	<i>Schinus molle</i>	Anacardiácea
Casuarina	<i>Casuarina sp</i>	Casuarinacea	Pirul Brasileño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiácea
Colorín	<i>Erythrina coralloides</i>	Fabaceae	Rosa Laurel	<i>Nerium oleander</i>	Apocinacea
Dedo moro	<i>Carpobrotus edulis</i>	Aizoaceas	Rosal	<i>Rosa sp</i>	Rosacea
Eucalipto	<i>Eucalyptus sp.</i>	Mirtacea	Trueno	<i>Ligustrum lucidum</i>	Oleacea
Fresno	<i>Flaxinus udheii</i>	Olacea	Yucateco	<i>Ficus nitida</i>	Moracea
Geranio	<i>Pelargonium peltatum</i>	Geraniacea	Maiporo	<i>Myoporum laetum</i>	Myoporaceae
Guayabo	<i>Feijoa sellowiana</i>	Mirtacea	Margarita	<i>Bellis perennis</i>	Asteraceae
Higuera	<i>Ficus carica</i>	Moracea	Melaleuca	<i>Melaleuca sp.</i>	Mirtaceae
Jacaranda	<i>Mimosa sp, Jacaranda, mimosifolia</i>	Bignoniacea	Lluvia de Oro	<i>Laburnum anagyroides</i>	Fabaceae
Lantana	<i>Lantana camara</i>	Verbenacea			

Fuente: Con base en Álvarez, Ma. G. (1996)

Anexo 5. Inventario del vivero municipal de Tijuana 2015.

Nombre Común	Nombre científico	Tipo de Vegetación	Nombre Común	Nombre científico	Tipo de Vegetación
Arce	<i>Arce negundo</i>	Árbol	Membrillos	<i>Cydonia oblonga</i>	Árbol frutal
liquidámbar	<i>Styraciflua</i>	Árbol	Nísperos	<i>Mespilus / germanica</i>	Árbol frutal
Acacias	<i>Acacia cyanophylla</i>	Árbol	Bugambilia		Arbusto
Álamo negro		Árbol	Cacias	<i>Cassia didymobotrya</i>	Arbusto
Álamo plateado	<i>Populus alba</i>	Árbol	Carissa		Arbusto
Algarrobo		Árbol	Cheflera		Arbusto
Alisos		Árbol	Cola de pescado	<i>Cyperus</i>	Arbusto
Árbol del amor	<i>Albizia julubrisin</i>	Árbol	Cola de zorra	<i>Cortaderia / selloana</i>	Arbusto
Árbol albizia	<i>Albizia julubrisin</i>	Árbol	Espada variegata		Arbusto
Árbol		Árbol	Espejo		Arbusto
Árbol botello	<i>Brachychiton</i>	Árbol	Gazania/novias del sol		Arbusto
Árbol cepillo	<i>Callistemon citrinus</i>	Árbol	Geranio rastrero		Arbusto
Árbol de seda	<i>Gravilia robusta</i>	Árbol	Geranio chino		Arbusto
Árbol zeiba		Árbol	Jojoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	Arbusto
Árbol paraíso	<i>Melia azadarach</i>	Árbol	Lavanda	<i>L. Angustifolia</i>	Arbusto
Benjamina	<i>Ficus benjamina</i>	Árbol	Lantana		Arbusto
Chaya		Árbol	Liston / malamadre		Arbusto
Colorin	<i>Erythrina caffra</i>	Árbol	Listoncillo verde	<i>Leucaria</i>	Arbusto
Cupania		Árbol	Llamarada		Arbusto
Cupanias	<i>Cupania vernalis</i>	Árbol	Malva		Arbusto
Eucalipto redondo		Árbol	Margarita amarilla		Arbusto
Floripondios	<i>Brugmansia hibrid</i>	Árbol	Margarita rastrera		Arbusto
Fresno	<i>Fraxinus exelsior</i>	Árbol	Melaleuca	<i>Melaleuca nesophylla</i>	Arbusto
Glorias bignomia	<i>Tecoma stans</i>	Árbol	Mirto	<i>Myrtus</i>	Arbusto
Guajes		Árbol	Monedita	<i>Porutulacaria</i>	Suculenta
Huizache		Árbol	Moraea amarilla	<i>Dietes bicolor iridoides</i>	Arbusto
Jacarandas	<i>Mimossifolia</i>	Árbol	Morea blanca	<i>Moreao grandiflora</i>	Arbusto
Lluvia de oro	<i>Koelreuteria bipinnata</i>	Árbol	Obelisco	<i>Hibiscus rosa sinensis</i>	Arbusto
Magnolias		Árbol	Oreja de vaca		Arbusto
Olivo		Árbol	Penissetum bronce	<i>Setaceum rubrum</i>	Arbusto
Mezquite	<i>Prosopis laevigata</i>	Árbol	Pennissetum blanco	<i>Pennsetum villosum</i>	Arbusto
Pata de vaca	<i>Bauhinia / s.p.</i>	Árbol	Pino junipero	<i>Juniperus</i>	Arbusto
Pino casuarina	<i>Casuarina/cunninghamiana</i>	Árbol	Plumbago		Arbusto
Pirul brasileño	<i>Shinus / terebinthifolius</i>	Árbol	Rafaelita	<i>Rhafhiolepis</i>	Arbusto
Pirul californiana	<i>Schinus / molle.</i>	Árbol	Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Arbusto
Yucatecos	<i>Ficus / microcarpa</i>	Árbol	Rosa laurel	<i>Nerium oleander</i>	Arbusto
Pino cipres	<i>Cipresus italiano</i>	Árbol	Trueno		Arbusto
Pino monterrey	<i>Pinus / radiata</i>	Árbol	Trueno amarillo	<i>Euonymus fortunei</i>	Arbusto
Pino tuya	<i>Thuja / plicata</i>	Árbol	Dodoneo	<i>Dodonea viscosa</i>	Arbusto
Aguacate	<i>Persea/americana</i>	Árbol frutal	Pittosporum enano	<i>Pittosporum tobira nana</i>	Arbusto
Duraznos	<i>Prunus / persica</i>	Árbol frutal	Pittosporum variegata	<i>Pittosporum tobira variegata alba</i>	Arbusto
Granados	<i>Punica ganatum</i>	Árbol frutal	Pittosporum	<i>Pittosporum tenuifolium</i>	Arbusto
Guayabos	<i>Psidium guajava</i>	Árbol frutal	Silver	<i>Limonium perezzi</i>	Arbusto
Manzanos	<i>Pyrus/malus.</i>	Árbol frutal	Zacate mexicano	<i>Limonium perezzi</i>	Arbusto

Fuente: Inventario del vivero municipal árboles y plantas julio del 2015.

Anexo 6. Venta de combustibles de diversas ciudades de México.

Tipo de combustible	Volumen de venta de combustibles (metros cúbicos)				
	Tijuana	Mexicali	Ensenada	Ciudad Juárez	Reynosa
MAGNA	715,887	689,386	252,327	723,549	676,864
PREMIUM	197,275	161,566	60,177	79,516	46,290
DIESEL	190,811	278,911	162,442	263,286	225,815
Total	1,103,972	1,129,863	474,946	1,066,351	948,970

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2016.

Anexo 7. Comparativo de Algunas Zonas Metropolitanas de México en el 2010.

Zona Metropolitana	Poblacion	Superficie	Densidad (hab./ha.)	Autos por habitante
ZM de Mexicali	936,826	22,086	37.9	0.41
ZM de Tijuana	1,751,430	33,127	50.5	0.33
ZM del Valle de México	20,116,842	230,462	84.9	0.30
ZM de Monterrey	4,106,054	77,747	52	0.30
ZM de Guadalajara	4,434,878	61,538	70.2	0.26
ZM de Juarez	1,332,131	35,210	37.6	0.27
ZM de Reynosa-Rio Bravo	727,150	18,152	38.3	0.27

Fuente: Elaboracion propia con base en ONU-Habitat 2015.

Anexo 8. Datos base para la estimación de emsiones de CO₂

	GASOLINA MAGNA	GASOLINA PREMIUM	DIESEL
Venta de combustible (m³)	715,887.2	197,274.5	190,810.6
Densidad (kg/m³)	740.0	734.5	820.0
Consumo de combustible (toneladas)	529,756.5	144,898.1	156,464.7
Poder calorifico neto (TJ/ton)	0.0	0.0	0.0
Factor de emision (kg CO₂/TJ)	73,814.1	74,962.0	74,216.8
Factor de emision (kg de CH₄/TJ)	3.0	3.0	3.0
Factor de emision(kg de N₂O/TJ)	0.6	0.6	0.6

Fuente:Elaboracion propia.