



PROYECTO DE GRADO

**Presentado ante la ilustre Universidad de Los Andes como
requisito final para obtener el título de INGENIERO DE SISTEMAS**

Estimación de la huella de carbono del parque automotor del casco urbano del municipio Libertador en el estado Mérida, Venezuela (2015-2030)

Autor: Br. Silvia Patricia Maldonado Colls

Tutora:

Prof. Luz Marina Rondón de Delgado

Tutor:

Prof. Francisco Barillas

Asesor:

Prof. Julio Centeno

Abril, 2017

2016 Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

C.C. Reconocimiento

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
RESUMEN.....	10
PALABRAS CLAVES.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO 1.....	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2 MARCO REGULATORIO INTERNACIONAL: LA CONVENCIÓN MARCO DE NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y EL PROTOCOLO DE KIOTO	18
1.3. EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL CONTEXTO MUNDIAL, REGIONAL Y LOCAL DISCRIMINADO POR ACTIVIDAD ECONÓMICA	20
1.4 OBJETIVOS	30
<i>Objetivo general</i>	30
<i>Objetivos específicos</i>	30
1.5 JUSTIFICACIÓN	31
1.6 ANTECEDENTES	31
CAPÍTULO 2.....	34
MARCO TEÓRICO.....	34
2.1 LA HUELLA DE CARBONO: DEFINICIÓN Y ESTIMACIÓN	34
2.2 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	35

2.3 EL MÉTODO DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE COMO TÉCNICA PARA REALIZAR PROYECCIONES A FUTURO.....	39
2.5 COMPENSACIÓN DE EMISIONES A TRAVÉS DE PLANTACIONES	41
CAPÍTULO 3	45
3.1 PROCESO METODOLÓGICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
3.1 FASE 1. ESTIMACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR EN EL ÁREA DE ESTUDIO	46
3.2 FASE 2. ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE GASOLINA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	55
3.3 FASE 3. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	63
CAPÍTULO 4	66
PROPUESTA DE ARBORIZACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO PARA MITIGAR LAS EMISIONES DE CO ₂	66
4.1 SELECCIÓN DE LAS ESPECIES	66
4.2 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN CO ₂ DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS.....	67
4.3 EL CICLO DE VIDA Y LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE LAS ESPECIES	69
4.4 ESTIMACIÓN DE LA FIJACIÓN DE LAS EMISIONES OBTENIDAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO A PARTIR DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS	70
Escenario 1. Especies nativas	71
Escenario 2. Especies exóticas	72
4.5 ESTIMACIÓN DE COSTOS POR ESCENARIO	73
4.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS PROPUESTOS	74
Escenario 1	75
Escenario 2	76
CAPÍTULO 5	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78

<i>Conclusiones</i>	78
<i>Recomendaciones</i>	81
REFERENCIAS	84
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	88
ANEXOS	89
ANEXO 1. ESPECIES NATIVAS	89
ANEXO 2. ESPECIES EXÓTICAS	93

www.bdigital.ula.ve

Índice de figuras

FIGURA 1. EFECTO INVERNADERO GLOBAL Y SU FORZAMIENTO	15
FIGURA 2. AUMENTO DEL CO ₂	18
FIGURA 3. EMISIONES MUNDIALES DE GEI ANTROPÓGENOS	20
FIGURA 4. EMISIONES DE CO ₂ MUNDIALMENTE DURANTE EL PERIODO 1960-2013	21
FIGURA 5. EMISIONES DE CO ₂ PER CÁPITA POR PAÍSES	22
FIGURA 6. ÁREA SELECCIONADA DEL ESTADO MÉRIDA	27
FIGURA 7. ÁREA DE ESTUDIO	29
FIGURA 8. CICLO DEL CARBONO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES	43
APAMATE (TABEBUIA ROSEA (BERTOL))	89
CEDRO (CEDRELA ODORATA L)	91
MELINA (GMELINA ARBOREA)	93
TECA (TECTONA GRANDIS)	95

Índice de gráficos

GRÁFICO 1. EMISIONES DE CO ₂ POR FUENTE SECTOR	23
GRÁFICO 2. EMISIONES DE CO ₂ EQ CORRESPONDIENTE AL SECTOR ENERGÉTICO AÑO 1999	24
GRÁFICO 3. VEHÍCULOS POR 1000 HABITANTES. FAVENPA 2015	25
GRÁFICO 4. PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL 2000-2014	49
GRÁFICO 5. PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL 2008-2014	50
GRÁFICO 6. NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS DEL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL	51
GRÁFICO 7. RESIDUALS VS. FITTED DEL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL	52
GRÁFICO 8. PROYECCIONES DEL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL 2000-2030	53
GRÁFICO 9. NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS PARA EL CONSUMO DE GASOLINA NACIONAL	58
GRÁFICO 10. RESIDUOS VERSUS PREDICHOS DEL CONSUMO DE GASOLINA NACIONAL	59
GRÁFICO 11. COMPORTAMIENTO DE LAS EMISIONES DE CO ₂ EN EL AE 2000-2030	64

www.bdigital.ula.ve

Índice de tablas

TABLA 1: CONSUMO DE GASOLINA NACIONAL 2000-2014	46
TABLA 2: PARQUE AUTOMOTOR VENEZOLANO	47
TABLA 3. PROYECCIONES DEL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL 2015-2030 CON INTERVALO DE PREDICCIÓN	53
TABLA 4. PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL (USO PERSONAL)	54
TABLA 5. PARQUE AUTOMOTOR AE (USO PERSONAL)	55
TABLA 6. PROYECCIONES DEL CONSUMO DE GASOLINA NACIONAL EN MILES DE BARRILES DIARIOS (MBD).....	60
TABLA 7: CONSUMO DE GASOLINA LITROS/UNIDAD-AÑO	61
TABLA 8. CONSUMO DE GASOLINA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	62
TABLA 9. EMISIONES EN EL ÁREA DE ESTUDIO, MILLONES TON CO ₂ /AÑO.....	63
TABLA 11. ESTIMACIÓN DE FIJACIÓN DE CO ₂ , HECTÁREAS Y ÁRBOLES POR ESPECIE.....	71
TABLA 12. ESTIMACIÓN DE FIJACIÓN DE CO ₂ POR LAS ESPECIES NATIVAS.....	72
TABLA 13. ESTIMACIÓN DE FIJACIÓN DE CO ₂ POR LAS ESPECIES EXÓTICAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO .	73
TABLA 14. COSTO PLANTACIÓN ESCENARIO 1.....	73
TABLA 15. COSTO PLANTACIÓN ESCENARIO 2.....	73

Lista de Abreviaturas

AE	Área de estudio
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
CO ₂	Dióxido de carbono
Gg	Giga gramos
Gt C/año	Giga toneladas de carbono por año
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HDC	Huella de carbono
ha	Hectáreas
IPCC	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático de la Organización de Naciones Unidas
PA	Parque automotor
PK	Protocolo de Kioto
MBD	Miles de barriles diarios
Mg C/año	Mega gramos de carbono al año
ton	Toneladas
tm	Toneladas métricas

RESUMEN

La concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y su acelerada acumulación en la atmósfera se han convertido en una gran problemática mundial debido a su repercusión sobre el cambio climático, por cuanto modifica los patrones de temperatura, el nivel del mar, la estabilidad de las masas de hielo en los polos y en los glaciares, los ciclos de la lluvia, la disponibilidad de agua para el consumo humano y la producción de alimentos y bienes en general, entre otros efectos. La posibilidad de almacenamiento de carbono ha recibido una creciente atención por parte del Protocolo de Kioto (PK), la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático (UNFF) y el Acuerdo de París, debido a que la absorción de carbono puede ser usada por los países participantes para cumplir sus objetivos de reducción de las emisiones netas de gases del efecto invernadero. Una de las principales actividades generadoras de emisiones de CO₂ es el transporte terrestre, aéreo y marítimo debido al consumo de derivados del petróleo: gasolina, gasoil, diésel, entre otros. Según el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático, en el 2010 el sector transporte aportaba 14% de las emisiones globales anuales de gases de efecto invernadero (IPCC WG3 2014). En este contexto, las zonas urbanas con alta densidad poblacional deben contar con planes y programas de mitigación de GEI para garantizar la sustentabilidad. En esta investigación se realiza una estimación de la huella de carbono del parque automotor del casco urbano del municipio Libertador del estado Mérida, durante el período 2015 – 2030 con el fin realizar una propuesta para mitigar las emisiones de CO₂ a través un plan de arborización considerando dos alternativas para la selección de especies arbóreas (nativas y exóticas), y su correspondiente estimación económica. Se utilizó los programas R Studio y Excel, para realizar las proyecciones de emisiones.

Palabras clave

Cambio climático; huella de carbono, parque automotor, casco urbano de Mérida

INTRODUCCIÓN

Desde las últimas décadas del siglo XX, el cambio climático ha ocupado la agenda internacional de la mayoría de los gobiernos debido a la importancia negativa de sus efectos para el planeta y por ende para el desarrollo de la humanidad. Como parte de esta responsabilidad, Venezuela es parte firmante de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio climático (CMNUCC) firmada en 1992 y ratificada en 1994, y del Protocolo de Kioto, firmado en el año 1997, el cual es un instrumento operativo de la convención, en donde se establecen objetivos para la reducción de emisiones solo de los países industrializados, identificados en su anexo, en un 5,2% como promedio anual durante el quinquenio 2008-2012 en relación con las emisiones de 1990, el año base. En diciembre de 2015 se celebró en París la XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático donde se suscribió un acuerdo mundial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero denominado el Acuerdo de París. La huella de carbono es una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de dichos gases, y a partir de allí generar políticas, planes y programas con el objetivo de disminuir dicha emisión.

El tema central de la presente investigación se enfoca en la estimación de la huella de carbono del parque automotor del casco urbano del municipio Libertador del estado Mérida, durante el periodo 2015-2030 para mitigar las emisiones de CO₂ a través de un plan de reforestación considerando dos alternativas para la selección de especies arbóreas y su correspondiente estimación económica. Para tal fin, la presente investigación se estructura de la siguiente manera:

El capítulo 1 se conforma por los aspectos relativos al planteamiento del problema, los objetivos de la investigación, su justificación, alcances y metodología.

En el capítulo 2 se realiza una exposición de los elementos del marco teórico que sustentan la investigación, enfatizando la definición de cambio climático y huella de carbono.

El capítulo 3 se desarrolla el modelo de regresión lineal para estimar las emisiones de CO₂ en el área de estudio. Se aplicaron los supuestos de regresión lineal para comprobar que los modelos se ajustan a las hipótesis. De este modelo se derivan las proyecciones de emisiones para el periodo de estudio.

En el capítulo 4 se describen y analizan los escenarios con las dos propuestas de especies arbóreas y se realizan las estimaciones de costos de plantación para la mitigación de emisiones de CO₂ en el casco urbano del municipio Libertado de Mérida.

En el capítulo 5 se expone las conclusiones derivadas de la investigación entre las cuales destaca que la estimación de las emisiones emitidas desde el año 2000 hasta el 2014 y luego las proyecciones acumuladas desde el año 2015-2030 en el área de estudio, utilizando un factor de conversión de 2,75 kg CO₂/litros de gasolina, lo que permitió determinar que las emisiones acumuladas en el casco urbano del municipio Libertado del estado Mérida alcanzan 7,91 millones de toneladas de CO₂ acumuladas para el periodo en estudio.

La compensación de las emisiones estimadas y proyectadas con base en el modelo de regresión lineal simple, pueden ser compensadas mediante un plan de arborización en zonas y áreas específicas del área de estudio o en cualquier otra zona del municipio Libertador o del estado Mérida. La propuesta

contemplada en la investigación basada en la selección de dos tipos de especies: nativas y exóticas; los criterios de selección dependen fundamentalmente de dos factores, uno relacionado con el ciclo de vida de las plantas y el otro, económico, vinculado al costo de la plantación.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 1

1.1 Planteamiento del problema

Comprendiendo el cambio climático

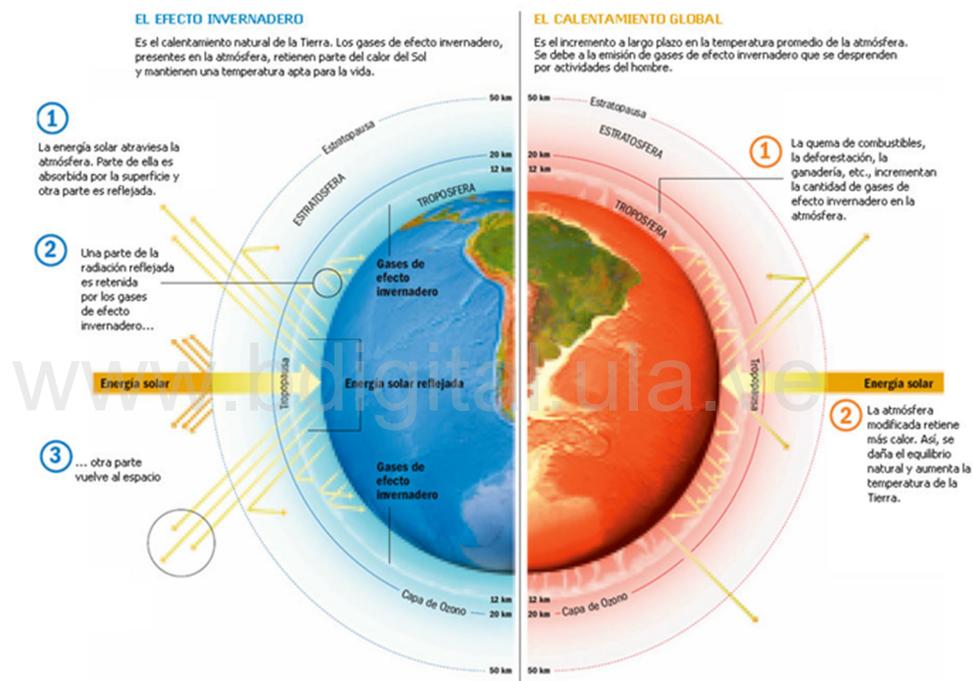
Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992), define como cambio climático “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (p,3). Por otro lado, (Benavides, H., y León, G. 2007) sostiene:

El clima de la Tierra depende del equilibrio radiactivo de la atmósfera, el cual depende a su vez de la cantidad de la *radiación solar* que ingresa al sistema y de la concentración atmosférica de algunos gases variables que ejercen un *efecto invernadero natural* (gases traza con actividad radiactiva, nubes y aerosoles) (Figura1). Estos agentes de *forzamiento radiactivo* varían tanto de forma natural como por la actividad humana, produciendo alteraciones en el clima del planeta.

Según los autores mencionados, los GEI son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero.

La energía remitida hacia el exterior, desde la Tierra, está formada por ondas de frecuencias más bajas, y es absorbida por los gases, produciendo el efecto invernadero. Esta retención de la energía hace que la temperatura aumente. En forma simple, el efecto invernadero provoca que la energía que llega a la Tierra sea devuelta más lentamente, por lo que es mantenida más tiempo junto a la superficie elevando la temperatura (Bolin et al., 1986, citado en Espindola,C., Y Valderrama, J. 2012).

FIGURA 1. Efecto invernadero global y su forzamiento



Fuente: Recuperado de: <https://blogociologico.blogspot.com/2009/09/calentamiento-global-terrestre-nuestro.html>

En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). Hay, además, en la atmósfera una serie de GEI creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias

con contenido de cloro y bromo, regulados por el Protocolo de Montreal. También se encuentran otros gases como el hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

De los gases mencionados anteriormente, el CO_2 es el que permanece activo en la atmósfera durante más tiempo. Por ejemplo, “del CO_2 emitido a la atmósfera, sobre el 50% tardará 30 años en desaparecer, un 30% permanecerá varios siglos y el 20% restante durará varios millares de años” (Solomon et al., 2007).

El dióxido de carbono es el más importante GEI asociado a actividades humanas y el segundo gas más importante en el calentamiento global después del vapor de agua. Este gas tiene fuentes antropogénicas y naturales. En relación con las actividades humanas el CO_2 se emite principalmente, por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y sus derivados y gas natural) y leña para generar energía, por la tala y quema de bosques (Guesnerie, R. 2006, p. 10).

En relación con la concentración atmosférica de los GEI, El quinto informe del IPCC (2013) sostiene lo siguiente:

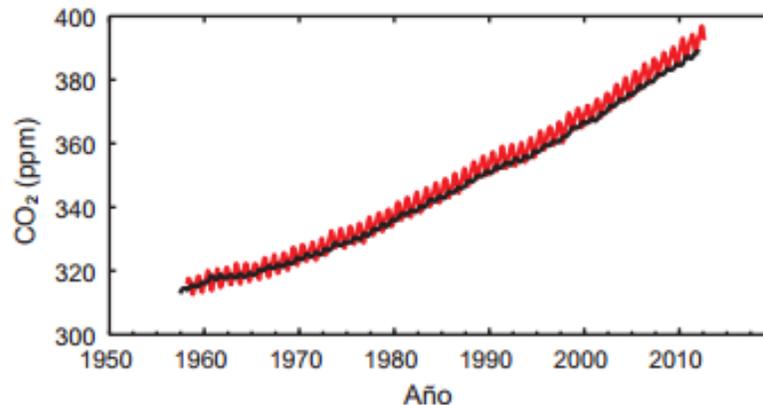
Las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) han aumentado desde 1750 debido a la actividad humana. En 2011, las concentraciones de estos gases de efecto invernadero eran de 391 ppm (partes por millón), 803 ppmm y 324 ppmm, respectivamente, valores que excedían los niveles preindustriales en aproximadamente el 40%, el 150% y el 20%, respectivamente, superando hoy considerablemente las concentraciones más altas registradas en los núcleos de hielo correspondientes a los últimos 800.000 años. Existe un nivel de confianza muy alto en cuanto a que

las tasas promedio de aumento de las concentraciones atmosféricas durante el siglo pasado no han tenido precedentes en los últimos 22 000 años.

Las emisiones anuales de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles y la producción de cemento fueron de 8,3 [7,6 a 9,0] GtC/año, promediadas entre 2002 y 2011 (nivel de confianza alto), y de 9,5 [8,7 a 10,3] GtC/año en 2011, un 54% por encima del nivel correspondiente a 1990. Las emisiones netas anuales de CO₂ antropógenas producidas por el cambio de uso del suelo fueron, en promedio, de 0,9 [0,1 a 1,7] GtC/año durante el período de 2002 a 2011. De esas emisiones de CO₂ antropógenas se han acumulado 240 [230 a 250] GtC en la atmósfera, 155 [125 a 185] GtC han sido incorporadas al océano y 160 [70 a 250] GtC se han acumulado en ecosistemas terrestres naturales.

La acidificación del océano se cuantifica mediante la disminución del pH. El pH del agua del océano superficial ha disminuido en un 10%, desde el comienzo de la era industrial (nivel de confianza alto), lo que corresponde a un aumento del 26% en la concentración de iones de hidrógeno. En la Figura 2 se presenta el incremento en el tiempo del CO₂ y su efecto en el pH del océano. Lo expuesto demuestra el impacto negativo que genera la emisión de los GEI, así como la necesidad de establecer mecanismos para reducir o mitigar los efectos generados al planeta.

FIGURA 2. AUMENTO DEL CO₂
CO₂ atmosférico



Fuente: Quinto Informe del IPCC 2013

1.2 Marco regulatorio internacional: La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kioto

En un esfuerzo internacional por hallar soluciones a esta problemática, y con base en los informes presentados por el Grupo Intergubernamental para el Cambio climático IPCC (Intergubernamental Panel on Climate Change, 1990; 1992, y 1995) se firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCCN) en 1992, cuyo objetivo es “la estabilización de la concentración de gases del efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático” (Artículo 2, 1992).

Dicha convención estableció en su artículo 3, una serie de principios que deberían tomar en cuenta sus partes firmantes para lograr el objetivo, siendo el más importante de ellos “el principio de precaución para prever, prevenir, o reducir al mínimo las causas de cambio climático y no utilizar la falta total de certidumbre científica como argumento para posponer la acción

cuando haya una amenaza de daño grave o irreversible” (Artículo 3, literal C CMNUCC).

Vale señalar que la convención está integrada actualmente por 189 Estados Partes, que incluye tres grupos diferentes: Partes-anexo 1: países industrializados, miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y países en vías de transición a una economía de mercado. Partes-anexo 2: países miembro OCDE incluidos en el anexo 1. Partes-no anexo 1: países en vías de desarrollo.

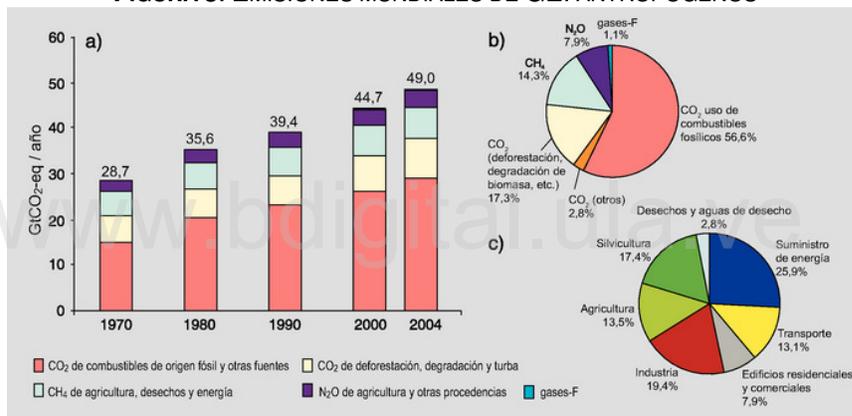
Posteriormente, en 1997 se firmó el Protocolo de Kioto (PK). Este es un mecanismo operativo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, su objetivo se basa en el compromiso de los países desarrollados (Partes-anexo I) a alcanzar objetivos cuantificados de reducción de emisiones de la siguiente manera: *seis GEI (CO₂, N₂O, CH₄, HFC, PFC, SF₆)* “hasta al menos un 5% por debajo de los niveles de emisión de 1990 durante el periodo 2008-2012 (el primer periodo de compromiso).” (Camps, Arbertain, M; Pinto, 2004). En este protocolo, los países en desarrollo quedaron exentos de compromisos para la reducción de sus emisiones.

En diciembre de 2015 se celebró en París la XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático (Acuerdo de París) en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático con el fin de concluir un acuerdo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de todos los países miembros de la Organización de Naciones Unidas. En esta nueva conferencia se logra por primera vez en la historia un acuerdo universal para limitar el calentamiento global, el cual entra en efecto a partir del 2020 y se extenderá hasta el 2030. El objetivo central es evitar que el aumento de temperatura supere los 2°C para el 2100, en comparación con el promedio de la época pre-industrial.

1.3. Emisión de gases de efecto invernadero en el contexto mundial, regional y local discriminado por actividad económica

Según el 4to informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático realizado en el año 2007, sostiene que el 25,9% correspondía al suministro de energía, el 19% a la industria, el 17,4% a la silvicultura, el 13,5% a la agricultura y el **13,1% al sector transporte**, seguido de edificios residenciales y comerciales con el 7,9% y el 2,8 restante corresponde a desechos y aguas de desechos (Figura 3).

FIGURA 3. EMISIONES MUNDIALES DE GEI ANTROPÓGENOS

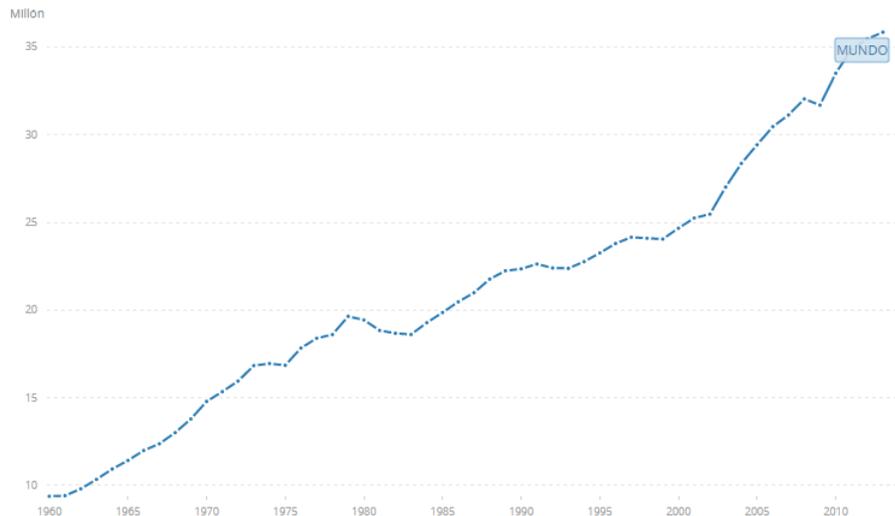


Fuente: Recuperado de: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/figure-spm-3.html

a) Emisiones anuales mundiales de GEI antropogénicos entre 1970 y 2004.^[5] b) Parte proporcional que representan diferentes GEI antropogénicos respecto de las emisiones totales en 2004, en términos de CO₂ equivalente. c) Parte proporcional que representan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropogénicos en 2004, en términos de CO₂ equivalente. (En el sector silvicultura se incluye la deforestación)

Según datos del Banco Mundial, desde 1960 al 2013 las emisiones de CO₂ (K/Tn) han ido en aumento (Figura 4) a pesar de los compromisos asumidos¹ por más de 185 países con el fin de reducir los GEI.

FIGURA 4. EMISIONES DE CO₂ MUNDIALMENTE DURANTE EL PERIODO 1960-2013



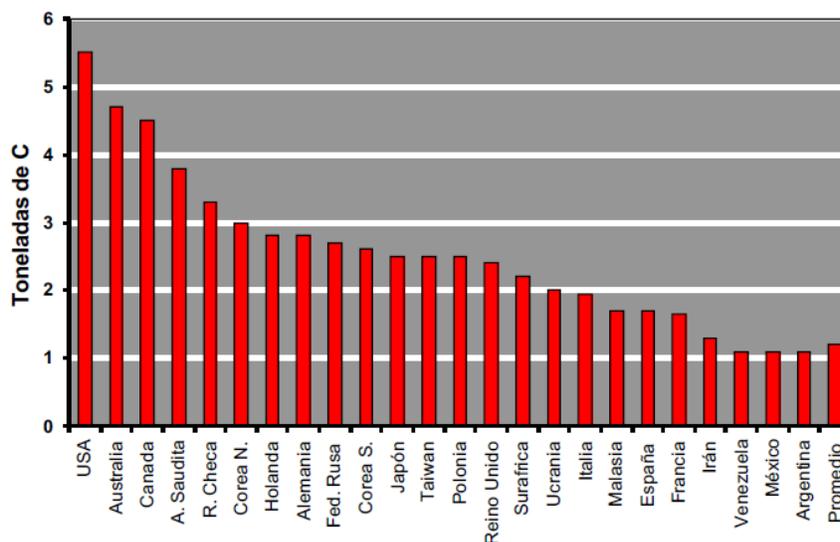
Fuente: Banco Mundial en

http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2013&name_desc=true&start=1960&view=chart

Según información publicada en la Primera Comunicación en Cambio Climático de Venezuela presentada en el año 2005, se observa que los países industrializados son los principales emisores de GEI, pero de igual forma esta información refleja que en el contexto internacional Venezuela, se iguala a México y Argentina en cuanto a emisiones per cápita, lo que permite inferir el alto nivel de generación de dichas emisiones por éste.

¹ Convención Marco de Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (1992), Protocolo de Kyoto(1998)

FIGURA 5. EMISIONES DE CO₂ PER CÁPITA POR PAÍSES



Fuente: Primera Comunicación en Cambio Climático de Venezuela, 2005²

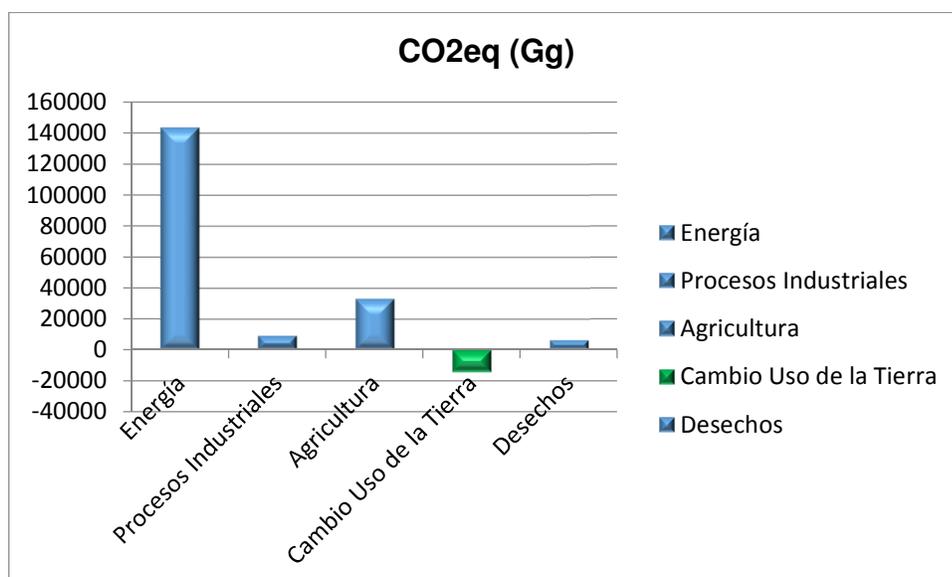
En este mismo documento se afirma que la principal fuente de emisión de CO₂ equivalente³ (CO₂eq) medida en giga gramos se ubica en el sector de energía, seguido por el sector agrícola y en tercer lugar el sector industrial (Gráfico 1). Es decir, para 1999 las emisiones totales de CO₂ en Venezuela alcanzaron 114,147 Gg; a la vez que el sector cambio de uso de la tierra y silvicultura absorbe 14,360 Gg, por lo tanto, la emisión neta del país fue de 99,787 Gg. Ello significa que la capacidad de absorción de los sumideros⁴ de carbono equivale apenas al 12,58% del total de las emisiones.

² Para la elaboración de esta comunicación se utilizaron los datos del inventario de GEI realizada por Venezuela en el año 1996 y el cual no ha sido actualizado

³ CO₂eq es una medida que representa, para una mezcla dada de GEI, la cantidad de CO₂ que tendría el mismo potencial de calentamiento global a lo largo de un periodo de tiempo determinado (típicamente 100 años)

⁴ Se conoce como sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Las formaciones vegetales actúan como sumideros por su función vital principal, la fotosíntesis (proceso por el que los vegetales captan CO₂ de la atmósfera o disuelto en agua y con la ayuda de la luz solar lo utilizan en la elaboración de moléculas sencillas de azúcares). Mediante esta función, los vegetales absorben CO₂ que compensa las pérdidas de este gas que sufren por la respiración y lo que se emite en otros procesos naturales como la descomposición de materia orgánica (Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente de España, 2014)

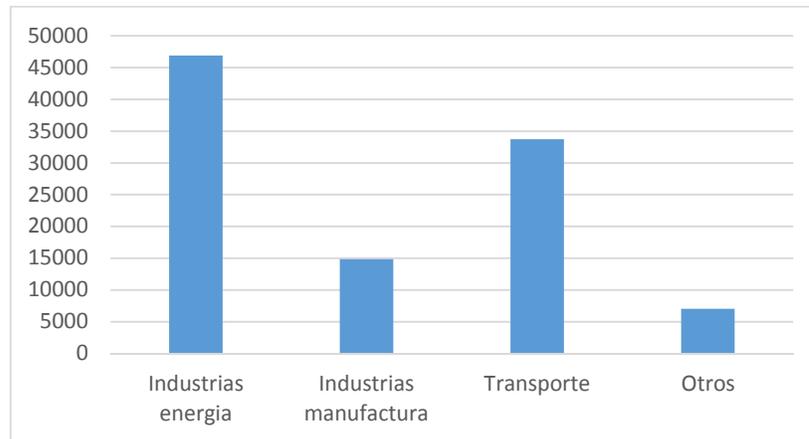
GRÁFICO 1. EMISIONES DE CO₂ POR FUENTE SECTOR



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Primera Comunicación en Cambio Climático de Venezuela, 2005

En relación con el sector energía (Gráfico 2) en el subsector de quema de combustibles, la primera fuente de emisiones de CO₂ eq correspondió a las industrias de energía con el 45,73%, seguido del sector transporte con 32,88% y en última instancia a las industrias manufactureras y de construcción con el 14,48% y el 6,89% corresponde a otros sectores.

GRÁFICO 2. EMISIONES DE CO₂EQ CORRESPONDIENTE AL SECTOR ENERGÉTICO AÑO 1999



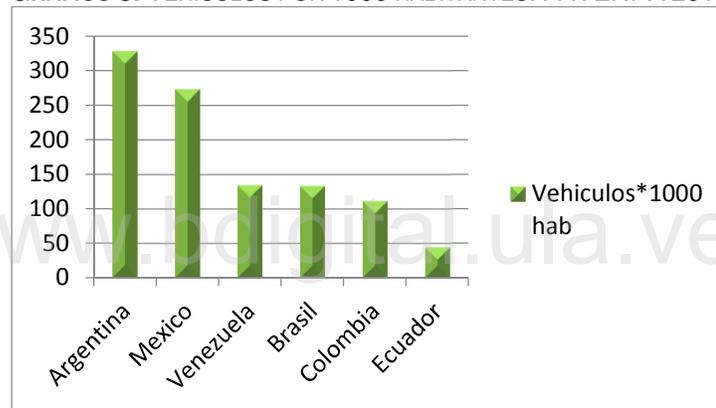
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Primera Comunicación en Cambio Climático de Venezuela, 2005

Nótese que, según este informe, las emisiones por el sector transporte en Venezuela son proporcionalmente casi tres veces superiores a las señaladas en el 4^º informe del IPCC para ese mismo sector globalmente. Estos datos revelan la importancia que tiene el sector transporte como fuente emisor de GEI, y la necesidad de diseñar políticas orientadas al mismo ya sea con fines de reducir la emisión de GEI, o para mitigar sus efectos.

No obstante, en el informe oficial presentado por Venezuela durante la negociación del Acuerdo de París en diciembre 2015 se señala que las emisiones de CO₂ provenientes del consumo de combustibles fósiles superaban los 200 millones de toneladas métricas anuales, equivalente a 6,7 ton de CO₂ por habitante, lo que equivale a 2 ton de carbono por habitante, el doble de lo señalado en la Primera Comunicación. Esto coloca a Venezuela muy por encima de casi todos los países de América Latina, en cuanto a emisiones de CO₂ por habitante solo por consumo de combustibles fósiles.

Según la Cámara de Fabricantes Venezolanos de Productos Automotores (FAVENPA) en su informe 2015 sostiene que, en el año 2000 circulaban 1.600.220 vehículos, (incluyendo automóviles, camionetas, rústicos y vehículos comerciales, exceptuando las motocicletas) mientras que en el 2015 circularon 4.219.856 a nivel nacional representando una tasa de crecimiento del 1,68% anual. No obstante, el mismo informe demuestra en términos comparativos que en Venezuela el uso vehicular supera a países como Brasil y Colombia (Gráfico 3) siendo estos resultados alarmantes debido a la inexistencia de políticas con fines de reducir o mitigar la emisión de GEI en este sector.

GRÁFICO 3. VEHÍCULOS POR 1000 HABITANTES. FAVENPA 2015



Fuente: Reporte Especial Parque Automotor Venezolano 31-12-2015. Favenpa

Desde una perspectiva de sustentabilidad el mayor impacto del transporte lo constituye el uso de combustibles fósiles y sus emisiones contaminantes. Esto se debe a que, por un lado, los combustibles fósiles son recursos naturales limitados y relativamente costosos, y por otro, a que su combustión genera sustancias contaminantes que se emiten a la atmósfera y que contribuyen con el calentamiento global. Se sabe que para la producción de energía se utilizan desde comienzos del siglo XX los combustibles de origen

fósil. Estos son llevados a una reacción de combustión, compuesta por un carburante, un combustible y una fuente de ignición (Grupo Empresarial Nutresa, 2013).

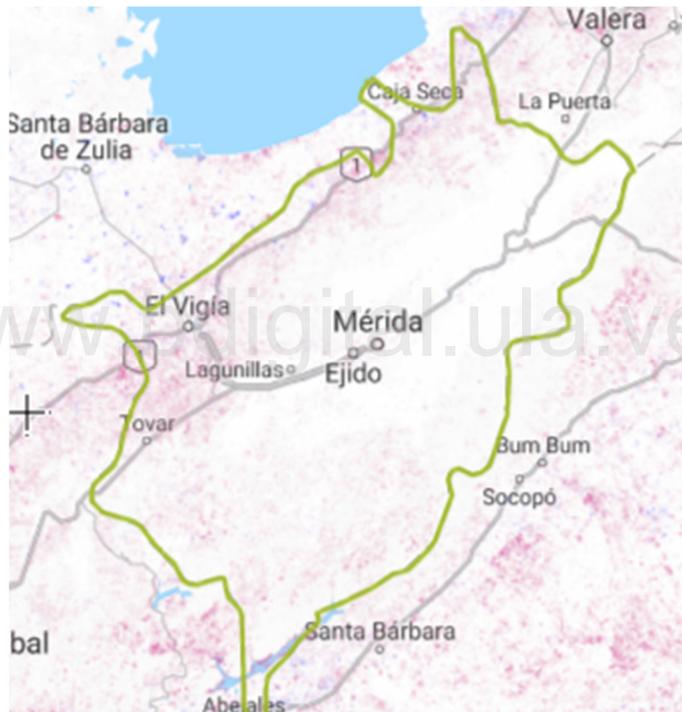
Aunado a esta situación, hay que señalar que la capacidad de captación de GEI mediante sumideros en Venezuela cada vez disminuye más. Según el Ministerio del Poder Popular del Ambiente 2010, las estimaciones de las Superficies de Bosques, Otras Tierras Boscosas y Otras Tierras, se obtuvieron mediante el Mapa de Cobertura Vegetal 2010. Se determinó que para el periodo 2000-2010, la superficie media anual de deforestación fue de 164.600 ha/año, es decir, una tasa media anual de 0,33%; y que para el periodo 2010-2015, la superficie media anual proyectada es de 164.400 ha/año (0,35%) ubicando a Venezuela en el puesto número 10 de las tasas de deforestación más altas del mundo (Cartaya, 2013).

La vivencia diaria de la ciudad, además de diversos estudios realizados sobre la misma, evidencian diversas manifestaciones de la agresión que han experimentado algunas de sus cualidades ambientales y urbanas. En ella se ha producido un crecimiento urbano inadecuado que viene comprometiendo su funcionalidad y alterando sus condiciones medio ambientales, traducido en la ocupación de espacios de alto riesgo natural, la contaminación de sus ríos, la presión de uso sobre su flora y biodiversidad, una contaminación ambiental asociada a la congestión del tráfico automotor y a la producción de grandes cantidades de desechos sólidos y la generación de crecientes niveles de pobreza y exclusión; entre otros.

Según Global Forest Watch, solo el estado Mérida se ha deforestado 20.409 ha en un intervalo de tiempo que va desde el 2001 al 2014, y solamente se ha recuperado 1.069 ha desde el 2001 al 2012, (Hansen et al, 2014). De lo anterior ha surgido un consenso en torno a la necesidad impostergable de

prevenir la profundización de dichas afectaciones y la pérdida progresiva de bienestar que vive la sociedad local, expresándose que cualquier proceso de desarrollo socioeconómico que se emprenda en la ciudad, deberá atender a los preceptos rectores del desarrollo sustentable, para efectivamente favorecer la dignidad humana, la supremacía del bien común y la protección y manejo adecuado del entorno natural y cultural.

FIGURA 6. ÁREA SELECCIONADA DEL ESTADO MÉRIDA



Fuente: Hansen, et al, 2017, recuperado de <http://www.globalforestwatch.org/map/8/8.39/-72.06/VEN-14/grayscale/loss.forestgain?tab=analysis-tab&begin=2001-01-01&end=2015-01-01&threshold=30>

Ante la situación expuesta surge la inquietud de proponer un método para estimar la emisión de GEI, a pequeña escala con el fin que pueda ser

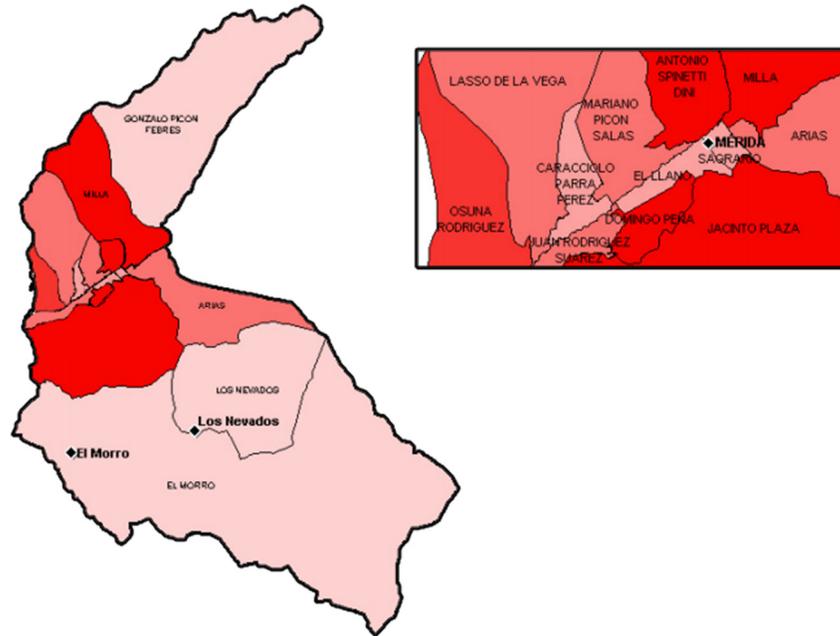
implementado ante la ausencia de políticas en la materia. En este sentido, se plantea estimar la huella de carbono (HDC) del parque automotor del casco urbano del municipio Libertador del estado Mérida. Según Centeno, J.(2014):

La huella de carbono es una medida de la contribución al cambio climático de una empresa, una actividad, un servicio o un producto, por medio de la cuantificación de sus correspondientes emisiones de gases de efecto invernadero. Es también una medida de la contribución de nuestras actividades o hábitos de consumo al calentamiento global. La huella de carbono puede igualmente cuantificar la contribución de un país, una ciudad o un individuo al calentamiento global.

Si bien la estimación de la huella de carbono implica la evaluación de cada componente de la actividad en estudio, es decir de la materia prima hasta su uso final, o desde cada actividad que se realice si el caso es el de una empresa; para efectos de la investigación se consideró solo el consumo de combustible en el parque automotor específicamente el de pasajeros incluyendo solo vehículos tipo sedán, camionetas y vehículos doble cabina.

En cuanto al área de estudio (Figura 6) se consideró solo las parroquias urbanas del municipio Libertador del estado Mérida, las cuales se mencionan a continuación: Antonio Spinetti Dini, Caracciolo Parra Pérez, Domingo Peña, El Llano, Gonzalo Picón, Jacinto Plaza, Juan Rodríguez Suárez, Lasso de la Vega, Mariano Picón Salas, Milla, Osuna Rodríguez y Sagrario.

FIGURA 7. ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Municipio_Libertador_\(M%C3%A9rida\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Municipio_Libertador_(M%C3%A9rida))

Para la estimación de la HDC se utilizó el método de regresión lineal el cual tiene como objetivo modelar en forma matemática el comportamiento de una variable de respuesta en función de una o más variables independientes (factores), con el fin de describir tal relación. Ahora bien, este modelo puede ser usado para propósitos de predicción, optimización o control. En el caso de esta investigación, el modelo se aplicó con fines predictivos.

1.4 Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Estimar la huella de carbono del parque automotor del casco urbano del Municipio Libertador del estado Mérida Venezuela, durante el período 2015-2030 para mitigar las emisiones de CO₂ a través un plan de arborización considerando dos alternativas para la selección de, especies arbóreas y su correspondiente estimación económica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar bases de datos sobre el parque automotor venezolano, las poblaciones, el consumo de gasolina para estimar las proyecciones futuras de CO₂ de la zona de estudio y los tipos de árboles a considerar.
2. Utilizar el método estadístico de regresión lineal para realizar las proyecciones en el periodo 2015-2030 y estimar la huella de carbono.
3. Proponer un plan de mitigación de las emisiones de CO₂ a partir del análisis de dos escenarios de plantaciones, utilizando:
 - a. solo especies exóticas de rápido crecimiento, como Gmelina y Teca.
 - b. una mezcla de especies nativas como Cedro y Apamate,
4. Estimar la dimensión económica de ambos escenarios de mitigación.

1.5 Justificación

Las características ecológicas de la ciudad de Mérida la convierten en un lugar de singular importancia para estudiar, diagnosticar, describir, explicar y estimar la huella de carbono considerando el parque automotor como variable principal, y además proponiendo una escala de estudio más pequeña a la utilizada comúnmente (país, región, estado), como es el municipio. Desde luego, esta investigación podría contribuir a configurar hallazgos que pudieran ser utilizados en futuras políticas para mitigar la generación de CO₂ a partir de la arborización mediante la utilización de criterios adecuados que orienten la selección de las especies idóneas para tal fin.

1.6 Antecedentes

En Venezuela el esfuerzo organizado y sistematizado para desarrollar iniciativas y proyectos de captura de carbono ha sido casi inexistente. No obstante, se pueden encontrar algunos trabajos de investigación en los que se realizan estimaciones de carbono contenido en reservas forestales.

Zambrano, Franquis e Infante (2004) realizaron un estudio titulado *Emisión y Captura de Carbono en los suelos en ecosistemas forestales*. Este se basa en una revisión y análisis bibliográfico acerca de los ecosistemas forestales como fuentes de emisión y captura de carbono. Se hace mención del papel de las plantaciones forestales para la fijación de carbono, la potencialidad de las tierras de pastoreo como sumideros, el papel de las prácticas agrícolas en la dinámica del carbono en los suelos, la influencia en la fertilidad del suelo en el secuestro de carbono, el efecto de la biomasa del

suelo y el carbono mineralizado sobre los agregados y su efecto sobre la textura y los cultivos en el secuestro de carbono.

Por su parte, Vilanova-Torre, Ramírez-Angulo y Torres-Lezama (2010), en el estudio titulado *El almacenamiento de carbono en la biomasa aérea como indicador del impacto del aprovechamiento de maderas en la Reserva Forestal Imataca, Venezuela*, sostienen que a partir de información de parcelas permanentes establecidas en áreas intervenidas y no explotadas de la Reserva Forestal Imataca, sureste de Venezuela, se estimó el carbono almacenado en la vegetación para árboles con diámetro mayor a 10 cm, en ambos ambientes, durante ocho años.

Los resultados obtenidos indican que, a pesar de una baja extracción de menos del 10% de la biomasa comercial (5,93m³/ha), inmediatamente después de la intervención ocurre una reducción de aproximadamente 50% en el carbono almacenado en el bosque, expresado en una diferencia neta de alrededor de 81,43 Mg C/ha. Con una tasa anual de 0,55 ±0,61 Mg C/ha/año en las zonas explotadas se esperaría una recuperación de la biomasa original luego de aproximadamente 150 años, evidenciando un importante daño a la vegetación remanente, lo que permite ubicar el impacto por debajo del umbral de cambio medio (UCM) e identificarlo como negativo.

Mejoras en la planificación del aprovechamiento que impliquen la adopción de técnicas de impacto reducido y un programa de monitoreo del carbono podrían contribuir a reducir considerablemente la pérdida de carbono y facilitar una recuperación más rápida del ecosistema. Los resultados proveen bases para la formulación de nuevos lineamientos en el manejo forestal en el contexto del cambio global.

Para efectos de esta investigación, se estima un contenido promedio de 120 ton C/ha en el punto de equilibrio de las plantaciones bajo análisis, lo que

se coloca dentro de los órdenes de magnitud esperados en un ecosistema boscoso de montaña.

Por otra parte, Salas e Infante (2006) realizaron un estudio sobre *Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales*; el mismo tiene como objetivo la revisión de los métodos para estimar la producción primaria neta en diferentes tipos de ecosistemas, tomando en consideración la tasa de reemplazo, bien sea rápida o lenta, mediante el uso de métodos directos destructivos e indirectos no destructivos. Para el caso de los bosques, se incluyen métodos que se refieren a la determinación de biomasa de la hojarasca y del componente madera. También se indican diversas ecuaciones alométricas que se han derivado para la estimación de la biomasa.

De estos antecedentes cabe resaltar las metodologías empleadas para el cálculo de la biomasa y captura de carbono, así como la importancia de vincular el manejo de las masas forestales en correspondencia con el cumplimiento de objetivos de disminución del calentamiento global.

CAPÍTULO 2

Marco teórico

2.1 La huella de carbono: definición y estimación

La definición de la huella de carbono (HC), se deriva del esfuerzo de hallar una medida para estimar las emisiones de gases a la atmosfera producto de las actividades desarrolladas por el hombre en el planeta. Blanquer, O 2010 (Citado Espindola, César., y Valderrama, José 2012), la define como “un indicador de sostenibilidad ambiental que cuantifica las emisiones directas e indirectas de CO₂ y otros GEI tales como el metano o los clorofluorocarbonos, expulsados a la atmósfera como resultado de la actividad de un individuo, de una organización, de un evento o de un producto”. Los resultados de este indicador se expresan en kilogramos o en toneladas de CO₂ o de CO₂ eq.

La importancia de cuantificar la huella de carbono reside en que facilita el diseño y formulación de políticas, planes y programas para reducir o mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Desde una perspectiva organizacional, se ha convertido en una necesidad debido a la inminencia de acuerdos internacionales para penalizar el consumo de productos en proporción con sus correspondientes huellas de carbono, lo que tiende a afectar la competitividad en el mercado y la imagen corporativa (Centeno, Julio 2014, p.7).

En consecuencia, se puede concluir que la huella de carbono constituye un indicador confiable para la estimación de GEI debido a que: 1) es capaz de identificar las principales fuentes de emisión de GEI del objeto en estudio y cuantificar dichas emisiones; 2) las unidades en las que se expresa resultan comprensibles por la sociedad y 3) puede ser empleado como base de

actuación en estrategias de reducción de emisiones de GEI por parte de los gestores públicos y privados (Blanquer, O. 2010. Citado Espindola, César., y Valderrama, José 2012).

2.2 Metodología para el cálculo de la huella de carbono

La aplicabilidad de este indicador ha derivado en el desarrollo de variados métodos de estimación. Así lo señala Blanquer (2012, p.54) “Según los últimos informes publicados en 2010 por la Comisión Europea (Comisión Europea, 2010 a, b) se contabilizan un total de 62 metodologías de cálculo de HC con enfoque a producto y 80 orientadas a organizaciones”. Como consecuencia las proliferaciones de metodologías resultan en la dificultad de hacer comparaciones válidas entre los diferentes ámbitos de estudio.

Para cuantificar y certificar la huella de carbono se han elaborado normas técnicas que han sido sometidas a evaluaciones para determinar las más apropiadas. Existen normas nacionales e internacionales, entre las que se destacan las de la Organización Internacional de Estándares (ISO), la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT), el Comité Europeo para la Estandarización (CEN) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD). A continuación, se mencionan las más utilizadas a nivel internacional:

- Las normas ISO 14064-1, 14064-2, 14064-3, tienen como objetivo dar credibilidad a los informes de emisión de GEI y a las declaraciones de reducción o eliminación de GEI. Incluyen normas para el cálculo de la huella de carbono de productos y elaboración de informes.
- El Greenhouse Gas Protocol (GhG Protocol), es una iniciativa puesta en marcha por el World Resources Institute (WRI) y el World Business

Council for Sustainable Development (WBCSD), apoyada además por numerosas empresas, organizaciones no gubernamentales y administraciones públicas, entre ellas el USEPA, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Provee una guía minuciosa para empresas interesadas en cuantificar e informar de sus emisiones.

- El método compuesto de las cuentas contables (MC3), incluye un enfoque integral permitiendo el cálculo simultáneo de la huella de organizaciones y de productos. La totalidad de los datos se obtiene a partir de las cuentas contables de la empresa, lo cual permite una relación total entre el aspecto económico y el aspecto ambiental de la misma.
- Bilan Carbone, es el método de cálculo de emisiones de GEI desarrollado por la ADEME, organismo público francés. Responde a los requisitos de los marcos metodológicos ISO 14.064 y GHG Protocol. Se caracteriza por una visión generalista muy completa, por lo que, a través de sus distintos módulos, permite trabajar a nivel de empresas y eventos, pero también de territorios y productos.
- Los métodos llamados PAS 2050 y PAS 2060, elaborados por el British Standard Institute (BSI) con el apoyo del Carbon Trust y DEFRA, ambos organismos del gobierno inglés responden a las normativas ISO y al GHG Protocol.

Mientras la Organización Internacional de Estándares desarrollaba sus normas 14067 y 14069 para productos y empresas respectivamente, y mientras la Comisión Europea desarrolla una norma para el cálculo de la Huella Medioambiental de productos, programada para el 2013, empresas norteamericanas, europeas y asiáticas impulsaron iniciativas para la

identificación de sus respectivas huellas de carbono y el desarrollo de normas nacionales que opera en varios países.

En el ámbito mundial, importantes organizaciones y corporaciones han dedicado esfuerzos para estimar y monitorear su huella de carbono, en un esfuerzo por cumplir con los objetivos de reducción de GEI y como parte de su política de responsabilidad social empresarial. Algunos países han desarrollado importantes normas en materia ambiental para obligar a las empresas e instituciones públicas a cumplir con los objetivos de reducción de gases. En cuanto a los avances en América Latina, el sector empresarial apenas inicia sus esfuerzos para la identificación de la huella de carbono, principalmente como estrategia preventiva para la protección de exportaciones.

En Venezuela, las faltas de compromiso por parte del Estado para dar cumplimiento a los objetivos de reducción de emisiones han derivado en una insuficiente y casi inexistente estrategia que no se traslada al desarrollo de normas de cumplimiento para instituciones públicas y empresas privadas. Tanto las empresas públicas más importantes del país como PDVSA, y las empresas básicas están pendientes por estimar sus huellas de carbono, del mismo modo están pendientes el diseño de estrategias para mitigarlas. Lo mismo ocurre con casi la totalidad de la empresa privada, sistemas de transporte terrestre y naval, líneas aéreas, termoeléctricas, medios de comunicación, hoteles, universidades, etc. Urge legislar sobre la materia, no sólo por la vulnerabilidad que se desprende de la marcada dependencia de la economía venezolana de la exportación de productos con una elevada huella de carbono, sino por ser un país con elevados niveles de emisiones propias (Centeno, 2014).

Es importante destacar lo señalado por Centeno (2014, p. 5-6) en cuanto a los indicadores de emisión de GEI y deforestación de Venezuela, que deben llamar la atención en cuanto al cumplimiento de los compromisos que el país debe asumir y que ya fueron suscritos:

Solo por el consumo de combustibles fósiles, en el 2010 Venezuela emitió casi 200 millones de toneladas de CO₂, equivalente a 6,9 toneladas por persona, cuatro veces el promedio de Colombia, el triple del de Brasil y 50% superior al de Argentina. Desafortunadamente, esta es solo parte de la huella de carbono del país.

Entre las múltiples consecuencias de la devastación de los bosques naturales del país se encuentra la emisión de al menos 100 millones de toneladas de CO₂. Esto eleva las emisiones totales a 300 millones de toneladas anuales, equivalente a aproximadamente 10,5 toneladas por habitante por año. Venezuela se coloca así entre los 20 países con mayores niveles de emisiones de CO₂ por persona.

www.bdigital.ula.ve

No obstante, el compromiso de disminución de emisiones no solo abarca a las instituciones públicas y privadas por cuanto existen mecanismos de disminución que cada ciudadano puede implementar y que resultan aún más significativos cuando las comunidades organizadas logran gestionar maneras de reducir o mitigar GEI. Las áreas urbanas constituyen en la actualidad importantes focos de atención, especialmente en Venezuela donde el 88,8% de la población vive en zonas urbanas (INE, 2013) donde se produce importantes fuentes de generación de gases. El sector automotor es uno de esas fuentes, además de la construcción, la deforestación, el cambio en el uso de la tierra, entre otros. Por lo tanto, en este sector, el automotor, se considera

de vital importancia a la hora de estimar la huella de carbono y proponer una alternativa de captación y reducción de GEI mediante la plantación de árboles.

2.3 El método de regresión lineal simple como técnica para realizar proyecciones a futuro

El análisis de regresión tiene como objetivo estudiar el comportamiento de una variable de respuesta en función de una o más variables independientes o factores. El modelo puede ser usado para predicción, optimización o control mediante un modelo matemático y así poder describir la relación entre las variables. Para estimar los parámetros de un modelo de regresión son necesarios los datos, los cuales pueden obtenerse de experimentos planeados, de observaciones de fenómenos no controlados o de registros históricos (Gutierrez, H., De la Vara, R., 2008).

Si se quiere explicar el comportamiento entre dos variables X y Y , se define Y como variable dependiente o variable de respuesta y X como la variable independiente. Si ambas variables están relacionadas linealmente, cada valor de Y puede ser descrita por el modelo $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$, siendo ε un valor aleatorio con media cero y varianza δ^2 y β_0, β_1 como los parámetros del modelo y son constantes desconocidos. Para estimar β_0, β_1 se ajusta la recta que explique de mejor manera el comportamiento de los datos en un diagrama de dispersión, en otras palabras, encontrar la recta que pase cerca de todos los puntos. Para encontrar la mejor recta ajustada, se utiliza el método de mínimos cuadrados.

En cualquier análisis de regresión, es necesario evaluar qué tan bien se comporta el modelo y explica la relación entre X y Y . Para eso, existen varios

supuestos estadísticos que ayudan a determinar si el comportamiento entre ambas variables es significativo y además ayuda a observar si tal relación permite hacer estimaciones con una precisión aceptable, como lo son:

1. Supuesto de linealidad: Este supuesto dice si la calidad de ajuste es satisfactoria y que existe linealidad entre la variable que se quiere predecir y la(s) variable(s) independiente(s). Puede usarse el coeficiente de determinación R^2 para saber si existe linealidad.
2. Supuesto de normalidad de residuos: Este supuesto demuestra que los residuos deben presentar una distribución normal, y la ausencia de normalidad supone poca precisión en los intervalos de confianza creados por el modelo. Para validar este supuesto, se aplica el test de normalidad de Shapiro Wilk.
3. Supuesto de independencia de los residuos: Este supuesto asume que los residuos no están auto-correlacionados, por lo cual son independientes. La auto-correlación se presenta en experimentos en los cuales cada medición tiene alguna contaminación de la medición inmediata anterior, lo cual contradice el supuesto de independencia, y suele presentarse en series de tiempo. Para validar la independencia de los residuos se utiliza el test Durbin-Watson, cuyo resultado debe estar cerca de 2 cuando los residuos son independientes. Si el valor está entre 1,5 y 2,5 se puede concluir que sí existe independencia de los residuos.
4. Supuesto de homocedasticidad: Este supuesto sostiene que los residuos en las predicciones son constantes en cada predicción, es decir, varianza constante. Este supuesto valida que la variabilidad de los residuos no aumenta ni disminuye cuando se predicen valores cada vez más altos o más pequeños. Esta constancia en los errores de

predicción se denomina "homocedasticidad", y cuando los errores varían, se habla de "heterocedasticidad".

La accesibilidad y el dinamismo del entorno R permiten el uso y aplicabilidad especialmente en actividades de investigación, pues facilita el manejo de diversos datos para analizar información indispensable en una investigación. Para el presente estudio, el entorno R permite procesar la información obtenida de FAVENPA para estimar tanto el parque automotor del casco central del municipio Libertador del estado Mérida, así como la emisión de dióxido de carbono. A partir de dicho resultado, se calcula la superficie con plantaciones (especies nativas y exóticas) necesarias para compensar las emisiones de CO₂.

2.5 Compensación de emisiones a través de plantaciones

El método más natural de reducción de emisiones de CO₂, es la captación del mismo por parte de los árboles y las plantas. Dicha captación de CO₂ se produce gracias a la fotosíntesis, reacción química por la cual la planta, gracias a la luz solar, capta CO₂ y libera oxígeno (O₂).

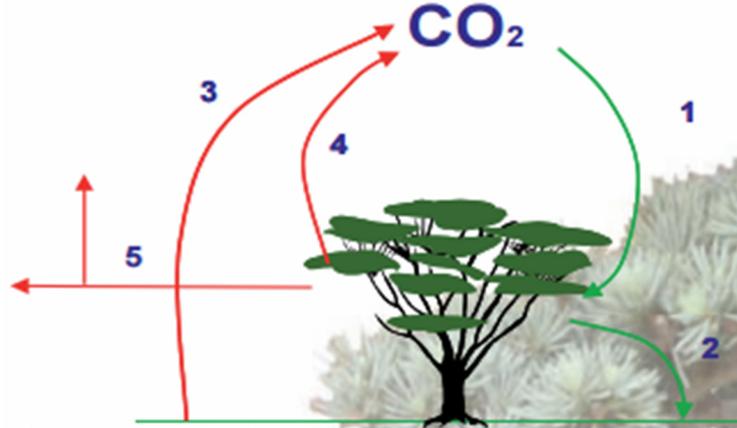
Según Gayoso, Jorge y Guerra, Javier (2005), los árboles absorben dióxido de carbono atmosférico junto con elementos en suelos y aire para convertirlos en madera que contiene carbono y forma parte de troncos y ramas. La cantidad de CO₂ que el árbol captura durante un año, consiste solo en el pequeño incremento anual que se presenta en la biomasa del árbol (madera) multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono.

Los autores sostienen, además, que aproximadamente entre el 42% y el 50% del peso de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono. Hay una captura de carbono neta, únicamente mientras el árbol se desarrolla para

alcanzar madurez. Cuando el árbol muere, emite la misma cantidad de carbono que capturó.

Teniendo en cuenta lo anterior, el ciclo de carbono de los ecosistemas forestales se resume en cinco pasos descrito en la figura 7. Paso 1, se produce la absorción de CO₂ a través de la fotosíntesis entrando a formar parte de la planta en forma de materia orgánica (biomasa-madera). Paso 2, cuando la biomasa (ramas, hojas) cae al suelo, se produce el proceso de incorporación de carbono desde la vegetación (carbono orgánico del suelo). Paso 3, como parte del ciclo del carbono, se producen emisiones, es decir, pérdidas de carbono acumulado en el suelo por mineralización, actividad de los microorganismos descomponedores del suelo. Paso 4, también se producen emisiones por la propia respiración de la vegetación (para mantenimiento y formación de nuevos tejidos por la vegetación). Por último, la mayor fuente de emisiones de las formaciones vegetales se produce por retirada de carbono por eliminación de la vegetación (cosecha, aprovechamiento forestal, incendios etc.) (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente Español, 2014).

FIGURA 8. CICLO DEL CARBONO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES



Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente Español, 2014. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros_tcm7-12476.pdf

Si la cantidad de CO_2 absorbida por los pasos 1 y 2 es mayor que la cantidad de CO_2 emitida por los pasos 3, 4 y 5, la formación vegetal (ya sea bosque, cultivo o matorral) será un sumidero de carbono. Si ocurre lo contrario, las emisiones serán mayores que las absorciones y el ecosistema será una fuente de CO_2 .

Para calcular la captura de carbono es necesario conocer el período en cual el bosque alcanzará su madurez. Los índices de captura de carbono varían de acuerdo con el tipo de árboles, suelos, topografía y prácticas de manejo en el bosque. La acumulación de carbono en los bosques, llega eventualmente a un punto de saturación, a partir del cual la captura de carbono resulta imposible. La saturación de produce cuando los árboles han llegado a su madurez total, retienen (capturan) únicamente pequeñas cantidades de CO_2 necesarias para su respiración y la de los suelos.

Una tonelada de carbono en la madera de un árbol o de un bosque, equivale a 3,67 toneladas de CO₂ atmosférico. Una tonelada de madera con 45% de carbono contiene 450 kg. de carbono. Árboles maduros, plantados a distancia de 5 metros forman bosque de 400 árboles por hectárea. Si cada árbol contiene 300 kg de carbono, y 42% de la madera del árbol es carbono, esto significaría que cada árbol pesa 714 kg. En este caso, la captura de carbono sería de 120 toneladas por hectárea (400 x 714 x 42%) (Dávila Huerto, 2010).

Estimaciones sobre captura de carbono durante 100 años oscilan entre 75 y 200 toneladas por hectárea, dependiendo del tipo de árbol y de la cantidad de árboles sembrados en una hectárea. Es posible entonces asumir 100 ton de carbono capturado por hectárea, equivalente a 367 ton de CO₂ por hectárea en 100 años. Esto es una tonelada de carbono y 3,67 ton de CO₂ por año y por hectárea, sin tomar en cuenta la pérdida de árboles (Dávila Huerto, 2010).

El promedio mundial de emisiones de CO₂ en 2001 fue 3,9 ton por persona (Banco Mundial, 2011). Se necesitarían 1,5 ha por persona, plantadas con árboles en desarrollo en regiones sin forestación para compensar las emisiones de CO₂ de esta sola persona, y 9.000 millones de hectáreas para compensar temporalmente las emisiones de los 6.000 millones de habitantes en el mundo. Sin embargo, esto sería insuficiente, porque la población y las emisiones de CO₂ aumentan diariamente.

Lo expuesto permite inferir que la compensación mediante este método contribuye a mitigar solo un pequeño porcentaje del total de las emisiones de CO₂, y especialmente en el área de estudio por su condición de área urbana, debido a la ausencia de extensas superficies de tierras para desarrollar plantaciones.

CAPÍTULO 3

3.1 Proceso metodológico y análisis de resultados

Para estimar la huella de carbono en el parque automotor del casco urbano del municipio Libertador del estado Mérida, se seleccionaron las siguientes variables estudiadas a dos escalas: nacional y área de estudio (AE).

- Población: se utilizaron datos de población nacional y del área de estudio. (Solo las parroquias urbanas del municipio Libertador exceptuando Gonzalo Picón, El Morro y Los Nevados en virtud de su categoría de parroquias rurales). Ambos datos corresponden a la información presentada por el Instituto Nacional de Estadística (proyecciones).
- Parque Automotor (PA): Para el estudio de esta variable se adquirió la licencia descargable del estudio del Parque Automotor Venezolano 2015 elaborado por la Cámara de Fabricantes Venezolanos de Productos Automotores (FAVENPA); ésta es una herramienta estadística que posee historial de estimación de cantidad de vehículos circulantes en el país, cantidad de vehículos de una determinada marca, modelo, versión, vehículos vendidos en el país por año, distribución aproximada por categorías de vehículos en las distintas zonas geográficas del país, cálculo de habitantes por vehículo estimado para las distintas zonas geográficas.

Para la proyección de esta variable a los años 2015-2030 se utilizó el método de regresión lineal, y a partir de allí se estimó los datos para el área de estudio.

- Consumo de gasolina: para el estudio de esta variable se utilizaron los datos publicados por PDVSA hasta el año 2014, utilizando el método

de regresión lineal para hallar los datos de consumo al año 2030. Para la estimación del consumo de gasolina se utilizaron los datos publicados por PDVSA correspondiente a los años 2000-2014 (Tabla 1).

El procesamiento de los datos de las variables mencionadas, utilizando el paquete estadístico R dio como resultado el total de emisiones de gases de efecto invernadero en el área en estudio.

TABLA 1: CONSUMO DE GASOLINA NACIONAL 2000-2014

Años	Gasolina MBD	Millones de lt/año	lt/unidad-año
2000	208	12.071	8.317
2001	209	12.129	7.450
2002	207	12.013	6.803
2003	209	12.129	6.362
2004	232	13.464	6298
2005	245	14.219	6.054
2006	252	14.625	5.333
2007	274	15.902	4.983
2008	287	16.656	4.851
2009	290	16.830	4.854
2010	315	18.281	5128
2011	293	17.004	4.657
2012	301	17.469	4.664
2013	299	17.352	4.593
2014	283	16.424	4.315

Fuente: www.pdvsa.com

3.1 Fase 1. Estimación del parque automotor en el área de estudio

El objetivo es estimar el parque automotor nacional al año 2030 a través del método de regresión lineal, y a partir de estos resultados obtener el parque automotor del área de estudio.

Para ello se consideraron los datos de población nacional al 2014, así como la información del parque automotor total nacional, y la estimación de habitantes por vehículo (Tabla 2).

TABLA 2: PARQUE AUTOMOTOR VENEZOLANO

Años	Población Nacional	Parque total Nacional	hab/veh
2000	23.071.140	1.600.220	14,4
2001	23.450.025	1.794.929	13,1
2002	23.829.968	1.946.856	12,2
2003	24.211.194	2.102.138	11,5
2004	24.593.830	2.357.034	10,4
2005	24.977.909	2.589.535	9,6
2006	25.363.388	3.023.264	8,4
2007	25.750.113	3.518.200	7,3
2008	26.138.037	3.785.735	6,9
2009	26.527.070	3.822.743	6,9
2010	26.917.053	3.930.832	6,8
2011	27.307.930	4.025.324	6,8
2012	27.700.305	4.129.587	6,7
2013	28.092.035	4.165.458	6,7
2014	28482946	4.196.335	6,8

Fuente: Elaboración propia a partir del estudio Parque Automotor Venezolano 2015, FAVENPA.

Los habitantes por vehículo (hab/veh) es un indicador utilizado por FAVENPA y se calcula a partir de la población nacional entre el parque automotor nacional. Para proyectar dichos datos hasta el 2030, se seleccionó el método de regresión lineal simple. En función de ello, se estableció como variable independiente X los años y como variable dependiente Y , el parque automotor nacional y de esta manera obtener la proyección al 2030. Entonces, con el comando básico $\text{lm}(y \sim x, data)$ la ecuación de regresión simple fue:

$$Y = 210545 * X - 419431692$$

Mediante el comando *summary* se obtuvo un resumen de los principales resultados

```
Call:
lm(formula = ParqueTotal ~ Years, data = ParqueNacional14)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-410027 -138420 -58510  133957  442644
```

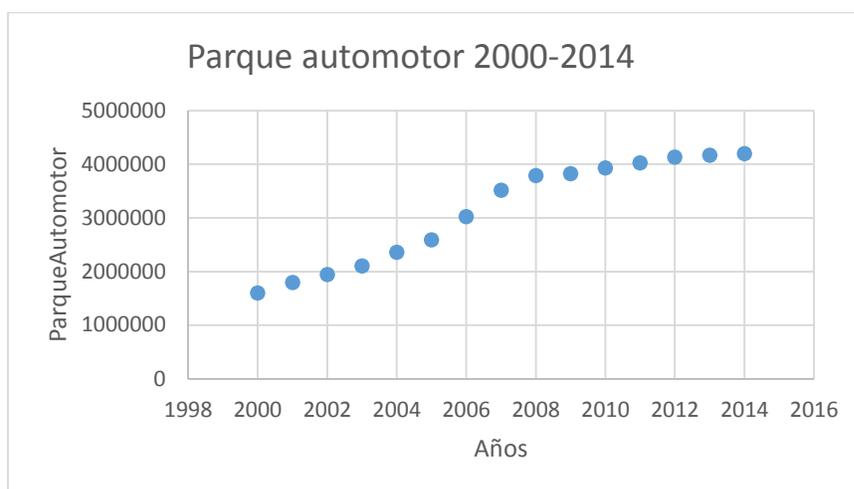
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-419431692	29371645	-14.28	2.53e-09 ***
Years	210545	14635	14.39	2.31e-09 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 244900 on 13 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0.9409, Adjusted R-squared: 0.9364				
F-statistic: 207 on 1 and 13 DF, p-value: 2.308e-09				

Con base en estos resultados, se concluye que el modelo se ajusta correctamente, debido a que el R^2 es aproximadamente 0,94, sugiriendo que el 94% del comportamiento de la variable de respuesta es explicada por la variable predictora. El modelo, además, tiene una probabilidad de $(F > F_0) < 0,05$, demostrando que el modelo es significativo.

Los resultados obtenidos se presentan mediante una gráfica de dispersión en la que se observa que el parque automotor tuvo un comportamiento hacia el alza en el periodo 2000-2008, y a partir de allí empieza a estabilizarse su crecimiento. Al observar dicha gráfica, se realizó la regresión lineal por segmentos para obtener un modelo de regresión lineal más preciso al momento de proyectar los datos hacia el 2030, considerando el segmento 2008-2014 (Gráfico 4) ya que presenta unos datos más estables para poder ajustar mejor el modelo.

GRÁFICO 4. PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL 2000-2014



Fuente: Cálculos propios a partir de datos de Favenpa, 2015.

El resultado del segmento 2008-2014 fue el siguiente: $Y = 75571X1 - 147965064$

```
Call:
lm(formula = Parque ~ Years, data = Parque_nacional)

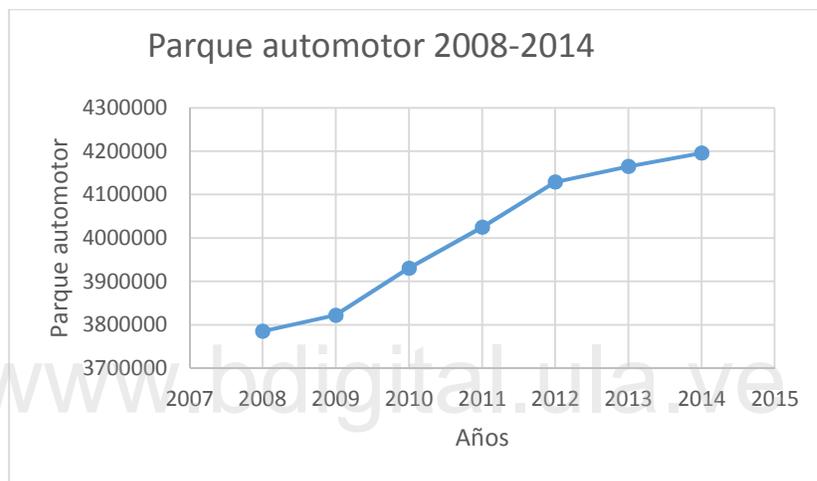
Residuals:
    1     2     3     4     5     6     7 
4446 -34117 -1599 17322 46014 6314 -38380

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -147965064  12157262  -12.17 6.62e-05 ***
Years          75571      6045   12.50 5.81e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 31990 on 5 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.969,    Adjusted R-squared:  0.9628 
F-statistic: 156.3 on 1 and 5 DF,  p-value: 5.812e-05
```

El porcentaje de variabilidad de la variable respuesta que es explicada por el modelo es mayor en comparación con el modelo anterior ya que el R^2 es de 0,969, y el R^2 ajustado dio un valor de 0,9628, siendo éste el mejor modelo ajustado a la población a escala nacional (Gráfico 5). Además, la $P(F > F_0) < 0,05$, lo que refleja la existencia de evidencias estadísticas suficientes para considerar que hay una relación lineal entre Parque y Años.

GRÁFICO 5. PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL 2008-2014



Fuente: Elaboración propia

Al evidenciar que el modelo del segmento 2008-2014 es más significativo que el modelo del segmento 2000-2014, entonces se continuó con el análisis de regresión lineal y la comprobación de los supuestos.

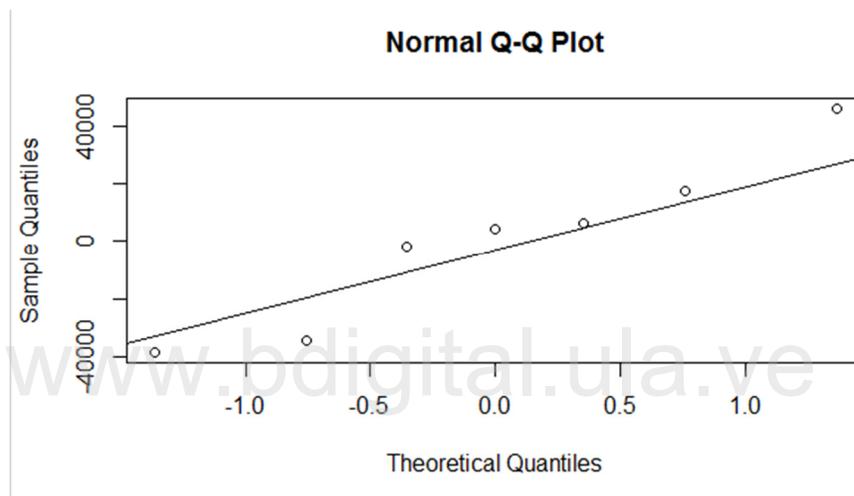
Validación del Modelo

El modelo arrojó que el R^2 ajustado dio un valor de 0,9628, lo que indica que existe una linealidad entre la variable dependiente e independiente, por lo

tanto, el supuesto de la linealidad se cumple. Al aplicar el test de Shapiro-Wilk, dio como resultado:

```
Shapiro-wilk normality test
data:  residuos_parque
W = 0.93836, p-value = 0.624
```

GRÁFICO 6. NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS DEL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL



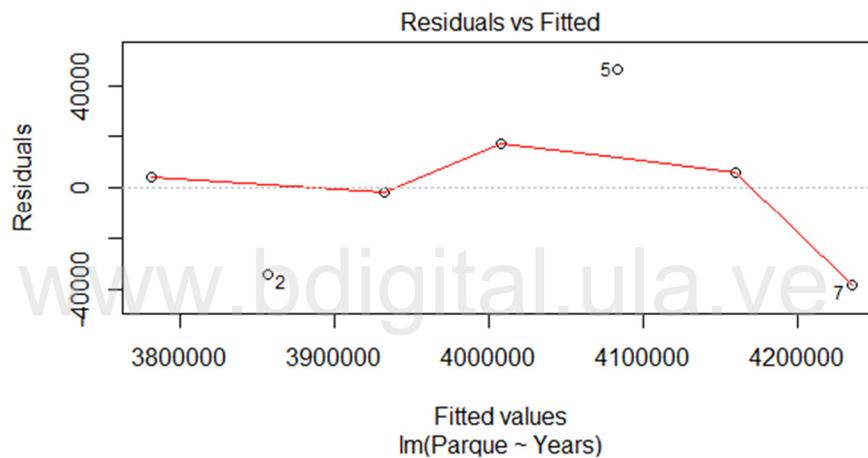
Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el p-valor es mayor a 0,05, no se rechaza la hipótesis de normalidad del test, es decir, no hay evidencia de que los residuos no presentan normalidad. Al aplicar el test de Durbin-Watson:

```
Durbin-watson test
data:  modelo_parque
DW = 1.4266, p-value = 0.06478
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

Como se observa, el p-valor es mayor 0,05, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis de independencia de los residuos. El valor DW es cercano a 2 por lo que los residuos no están auto correlacionados y son independientes. Para verificar el supuesto de residuos constantes, se grafica los valores predichos versus los residuos. En ese caso, se observa en el gráfico 7 que sí se cumple el supuesto. En el siguiente gráfico, no hay una forma funcional bien definida al unir los puntos, lo que no muestra una dependencia entre los residuos.

GRÁFICO 7. RESIDUALS VS. FITTED DEL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL



Fuente: Elaboración propia

Después de encontrar el modelo de regresión con variable independiente Años y variable dependiente Parque Nacional, y luego de validar el modelo con el estudio de supuestos, se realizan las proyecciones de los años 2015-2030 con $Y = 75571X1 - 147965064$ como se muestra en la tabla 3 y en el gráfico 8. Como hay pocos datos, se utilizó un intervalo de predicción para verificar cuán confiable son las proyecciones, además, depende tanto del error del modelo ajustado como el error asociado a las

observaciones futuras. El comando *predict* da como resultado los intervalos de predicción y se usan para dar más información de las estimaciones puntuales, con un intervalo de confianza de 95%.

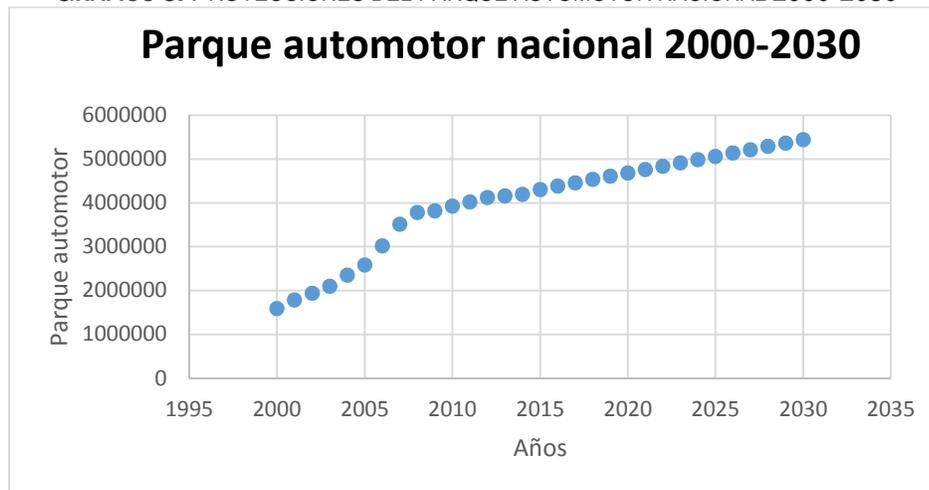
TABLA 3. PROYECCIONES DEL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL 2015-2030 CON INTERVALO DE PREDICCIÓN

Años	Parque nacional	lwr	upr
2015	4.310.501	4.202.620	4.417.951
2016	4.386.072	4.268.531	4.503.182
2017	4.461.643	4.333.280	4.589.575
2018	4.537.214	4.397.137	4.676.860
2019	4.612.785	4.460.307	4.764.831
2020	4.688.356	4.522.946	4.853.334
2021	4.763.927	4.585.168	4.942.254
2022	4.839.498	4.647.061	5.031.503
2023	4.915.069	4.708.689	5.121.016
2024	4.990.640	4.770.104	5.210.743
2025	5.066.211	4.831.344	5.300.645
2026	5.141.782	4.892.438	5.390.693
2027	5.217.353	4.953.411	5.480.861
2028	5.292.924	5.014.283	5.571.132
2029	5.368.495	5.075.067	5.661.489
2030	5.444.066	5.135.778	5.751.920

Fuente: Cálculos propios

www.bdigital.ula.ve

GRÁFICO 8. PROYECCIONES DEL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL 2000-2030



Fuente: Cálculos propios

Cabe señalar, que, en los datos expuestos en la tabla anterior, se consideró el parque automotor completo, incluyendo buses, mini buses, camiones de carga ligera, mediana y pesada, carros rústicos 4x4 y carros particulares. Pero, en el estudio del proyecto solo se tomó en cuenta los vehículos particulares y rústicos 4x4, ya que éstos constituyen el 90,7% del parque automotor nacional y el resto solamente el 9,3%. La tabla 4 contiene los datos del parque automotor menos el 9,3%.

TABLA 4. PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL (USO PERSONAL)

Años	PA uso Personal	Hab/veh
2000	1.451.400	15.9
2001	1.628.001	14.4
2002	1.765.798	13.5
2003	1.906.639	12.7
2004	2.137.830	11.5
2005	2.348.708	10.6
2006	2.742.100	9.2
2007	3.191.007	8.1
2008	3.433.662	7.6
2009	3.467.228	7.7
2010	3.565.265	7.5
2011	3.650.969	7.5
2012	3.745.535	7.4
2013	3.778.070	7.4
2014	3.806.076	7.5
2015	3.909.624	7.4
2016	3.978.167	7.4
2017	4.046.710	7.3
2018	4.115.253	7.3
2020	4.183.796	7.3
2020	4.252.339	7.2
2021	4.320.882	7.2
2022	4.389.425	7.2
2023	4.457.968	7.1
2024	4.526.510	7.1
2025	4.595.053	7.1
2026	4.663.596	7.0
2027	4.732.139	7.0
2028	4.800.682	7.0
2029	4.869.225	6.9
2030	4.937.768	6.9

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos se estima el parque automotor del área de estudio, utilizando el mismo método anterior: hab/veh asociado al PA de uso personal. De esta manera se obtiene el primer dato relevante para el posterior cálculo de las emisiones de GEI (Tabla 5).

TABLA 5. PARQUE AUTOMOTOR AE (USO PERSONAL)

Años	Población AE	Parque AE	Hab/veh
2000	203.634	12.811	15,90
2001	207.315	14.393	14,40
2002	210.996	15.635	13,50
2003	214.678	16.906	12,70
2004	218.359	18.981	11,50
2005	222.040	20.879	10,63
2006	226.068	24.441	9,25
2007	230.095	28.514	8,07
2008	234.123	30.756	7,61
2009	238.150	31.128	7,65
2010	242.178	32.077	7,55
2011	246.716	32.985	7,48
2012	251.254	33.974	7,40
2013	255.793	34.401	7,44
2014	260.331	34.787	7,48
2015	264.869	35.871	7,38
2016	269.381	36.640	7,35
2017	273.892	37.417	7,32
2018	278.404	38.202	7,29
2019	282.915	38.995	7,26
2020	287.427	39.796	7,22
2021	291.594	40.558	7,19
2022	295.760	41.328	7,16
2023	299.927	42.107	7,12
2024	304.094	42.895	7,09
2025	308.261	43.693	7,06
2026	311.853	44.420	7,02
2027	315.446	45.157	6,99
2028	319.038	45.904	6,95
2029	322.630	46.663	6,91
2030	326.223	47.434	6,88

Fuente: Cálculos propios

3.2 Fase 2. Estimación del consumo de gasolina en el área de estudio

El objetivo de esta fase del estudio es calcular el consumo de la gasolina nacional al año 2030 y seguidamente, estimar el consumo de gasolina en el

área de estudio. Con este fin, solo se consideró la gasolina 91 y 95 octanos ya que éstos constituyen el 92% de combustible nacional, el diésel el 5% y el gas natural 3%.

Según el estudio de FAVENPA 2015, los vehículos a gasolina representan el 88,7% del parque nacional, es decir, casi la totalidad de vehículos particulares y rústicos. Los datos correspondientes a los años 2000-2014 se obtuvieron del sitio web de PDVSA (www.pdvsa.com).

Para proyectar el consumo de gasolina hacia el año 2030, también se utiliza el método de regresión simple y se considera como variable independiente el Parque Nacional, y la variable dependiente el Consumo de Gasolina Nacional. Hay que señalar que se obvió la variable población en tanto que la misma sirvió de base para calcular el parque automotor nacional. Tomando en cuenta lo anterior, se realiza el estudio del nuevo modelo.

```
Call:
lm(formula = GasolinaMBDNac ~ ParqueAutomotorNac, data = GASOLINA_NA
C)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-18.939  -3.113   1.132   2.404  23.462

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    1.376e+02  8.699e+00  15.81 7.19e-10 ***
ParqueAutomotorNac 4.319e-05  2.933e-06  14.72 1.73e-09 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 9.662 on 13 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9434, Adjusted R-squared:  0.9391
F-statistic: 216.8 on 1 and 13 DF, p-value: 1.734e-09
```

Validación del Modelo

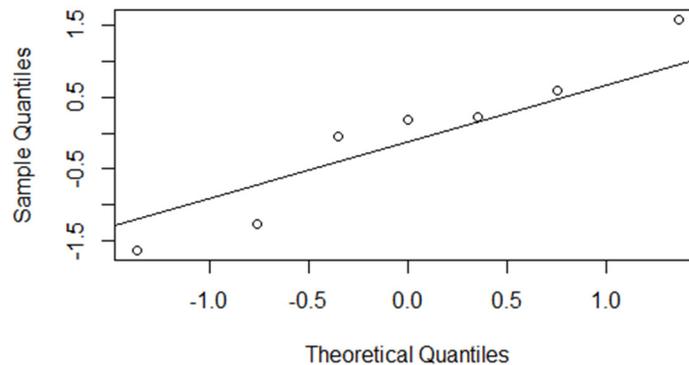
A partir del comando *summary*, se observa que el modelo se comporta de manera adecuada ya que el R^2 da como resultado 0,9434, lo que indica es que, si se conocen los valores del parque automotor nacional, podemos mejorar en un 94% el pronóstico del consumo de gasolina. Además, el R^2 ajustado refleja que existe linealidad alta. El p-valor del parque nacional debe ser menor a 0,05, por lo tanto, la variable es significativa con respecto al consumo de gasolina nacional.

```
Shapiro-wilk normality test
data:  residuos_gasolina
W = 0.92234, p-value = 0.2091
```

Al analizar el test de Shapiro-Wilk para validar el supuesto de normalidad de los residuos, se observa que los residuos presentan una distribución normal, aunque gráficamente no es confiable ya que existen muy pocos datos, entonces, p-valor es mayor a 0,05 por lo que no se rechaza la hipótesis de normalidad. Los resultados de este supuesto se presentan en el gráfico 9.

GRÁFICO 9. NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS PARA EL CONSUMO DE GASOLINA NACIONAL

Normal Q-Q Plot



Fuente: Cálculos propios

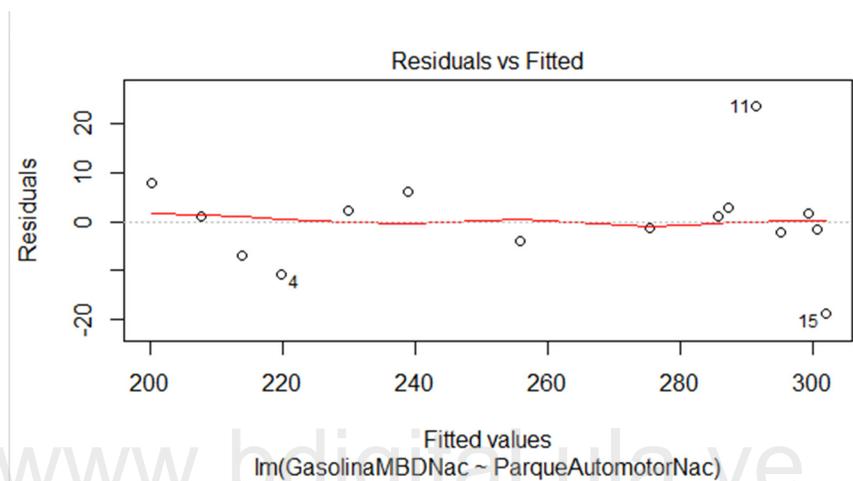
Los puntos de ajustan a una línea recta, aunque existen dos valores atípicos. En la primera y segunda observación, se debe a que en julio del 2008 se llegó a la mayor fluctuación del precio petróleo de la historia y una alta volatilidad en los mercados financieros con un máximo de 147 dólares, en parte debido a la fuerte demanda de los mercados emergentes como China. El crudo luego se desplomó en diciembre a menos de 40 dólares debido a que la desaceleración económica global redujo la demanda (Precio Petróleo 2008, recuperado de <http://www.preciopetroleo.net/precio-petroleo-2008.html>).

Seguidamente, se evaluó el supuesto de la independencia de los residuos aplicando el test de Durbin-Watson. Se puede asumir que los residuos no están auto-correlacionados, por lo tanto, los residuos son independientes en virtud de un valor cercano a 2, además el p-valor es mayor a 0,05 por lo tanto no se rechaza la hipótesis de independencia de los residuos.

```
Durbin-watson test
data: modelo_gasolina
DW = 1.5149, p-value = 0.09572
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

Para evaluar si existe o no homocedasticidad, se puede observar mediante una gráfica de residuos versus predichos (Gráfico 10). El supuesto valida que los residuos no aumentan ni disminuyen cuando se predicen valores, por lo tanto, la varianza es constante.

GRÁFICO 10. RESIDUOS VERSUS PREDICHOS DEL CONSUMO DE GASOLINA NACIONAL



Fuente: Cálculos propios

Luego de estudiar los supuestos del modelo, se concluye que se cumple con todas las hipótesis y que el modelo está ajustado correctamente, lo que permite evaluar las proyecciones hasta el 2030. En virtud de la estimación, el modelo de regresión simple resulta en:

$$Y = 0.0000431898 * X1 + 137.5549831$$

A partir de esta ecuación se sustituyen los valores del parque automotor nacional y así hallar las proyecciones del consumo de gasolina para los siguientes años 2015-2030 (Tabla 6).

TABLA 6. PROYECCIONES DEL CONSUMO DE GASOLINA NACIONAL EN MILES DE BARRILES DIARIOS
(MBD)

Años	Parque Nacional	Gasolina Nacional
2000	1.451.400	208
2001	1.628.001	209
2002	1.765.798	207
2003	1.906.639	209
2004	2.137.830	232
2005	2.348.708	245
2006	2.742.100	252
2007	3.191.007	274
2008	3.433.662	287
2009	3.467.228	290
2010	3.565.265	315
2011	3.650.969	293
2012	3.745.535	301
2013	3.778.070	299
2014	3.806.076	283
2015	3.909.624	306
2016	3.978.167	309
2017	4.046.710	312
2018	4.115.253	315
2019	4.183.796	318
2020	4.252.339	321
2021	4.320.882	324
2022	4.389.425	327
2023	4.457.968	330
2024	4.526.510	333
2025	4.595.053	336
2026	4.663.596	339
2027	4.732.139	342
2028	4.800.682	345
2029	4.869.225	348
2030	4.937.768	351

Fuente: Cálculos propios

Luego de obtener el consumo de gasolina a nivel nacional, se procede a calcular litros por vehículo al año transformando primero, los miles de barriles diarios a millones de litros al año y segundo, de millones de litros al año a litros por unidad al año. Dicho cálculo se realiza aplicando las siguientes fórmulas:

- $\text{Millones de litros/año} = \text{gasolina MBD} \times 159 \text{ litros}^5 \times 365 \text{ días}^*$
 $1.000/1.000.000$

⁵ 1 barril = 159 litros. Fuente: PDVSA

- Litros/unidad-año = Millones de litros/año*parque automotor nacional personal*1.000.000. El resultado obtenido se presenta en la tabla número 7.

TABLA 7: CONSUMO DE GASOLINA LITROS/UNIDAD-AÑO

Años	Gasolina MBD	Millones de lt/año	lt/unidad-año
2000	208	12.071	8.317
2001	209	12.129	7.450
2002	207	12.013	6.803
2003	209	12.129	6.362
2004	232	13.464	6.298
2005	245	14.219	6.054
2006	252	14.625	5.333
2007	274	15.902	4.983
2008	287	16.656	4.851
2009	290	16.830	4.854
2010	315	18.281	5.128
2011	293	17.004	4.657
2012	301	17.469	4.664
2013	299	17.352	4.593
2014	283	16.424	4.315
2015	306	17.783	4.548
2016	309	17.954	4.513
2017	312	18.126	4.479
2018	315	18.298	4.446
2019	318	18.470	4.415
2020	321	18.642	4.384
2021	324	18.813	4.354
2022	327	18.985	4.325
2023	330	19.157	4.297
2024	333	19.329	4.270
2025	336	19.501	4.244
2026	339	19.672	4.218
2027	342	19.844	4.193
2028	345	20.016	4.169
2029	348	20.188	4.146
2030	351	20.360	4.123

Fuente: Cálculos propios

Al hallar el consumo de gasolina en litros/unidad/año se procede a calcular dicho consumo en el área de estudio interpolando la información obtenida junto con el parque automotor del área de estudio (Tabla 8). Para ello se utiliza una conversión básica: Millones de litros al año en el área de estudio = litros/unidad- año del consumo de gasolina*parque automotor del área de estudio/1.000.000.

TABLA 8. CONSUMO DE GASOLINA EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Años	PA-AE	Lt/unidad-año	Mill lt/año
2000	12.811	8.317	107
2001	14.393	7.450	107
2002	15.635	6.803	106
2003	16.906	6.362	108
2004	18.981	6.298	120
2005	20.879	6.054	126
2006	24.441	5.333	130
2007	28.514	4.983	142
2008	30.756	4.851	149
2009	31.128	4.854	151
2010	32.077	5.128	164
2011	32.985	4.657	154
2012	33.974	4.664	158
2013	34.401	4.593	158
2014	34.787	4.315	150
2015	35.871	4.548	163
2016	36.640	4.513	165
2017	37.417	4.479	168
2018	38.202	4.446	170
2019	38.995	4.415	172
2020	39.796	4.384	174
2021	40.558	4.354	177
2022	41.328	4.325	179
2023	42.107	4.297	181
2024	42.895	4.270	183
2025	43.693	4.244	185
2026	44.420	4.218	187
2027	45.157	4.193	189
2028	45.904	4.169	191
2029	46.663	4.146	193
2030	47.434	4.123	196

Fuente: Cálculos propios

3.3 Fase 3. Estimación de la huella de carbono en el área de estudio

Para lograr el objetivo final se procede a hallar las emisiones emitidas desde el año 2000 hasta el 2014 y luego calcular las emisiones acumuladas desde el año 2015-2030 en el área de estudio (Gráfico 11). Para ello se utiliza un factor de conversión de 2,75 kg CO₂/litros de gasolina⁶ con el fin de estimar cuánto es el CO₂ equivalente, y luego convertir los millones de kg CO₂/año a millones de toneladas de CO₂/año para futuros cálculos. La sumatoria de las emisiones acumuladas desde el 2015 hasta el 2030 es de 7,91 millones de toneladas de CO₂ (Tabla 9).

TABLA 9. EMISIONES EN EL ÁREA DE ESTUDIO, MILLONES TON CO₂/AÑO

Años	Mill It/año	Mill ton CO ₂ /año
2000	107	0.29
2001	107	0.29
2002	106	0.29
2003	108	0.30
2004	120	0.33
2005	126	0.35
2006	130	0.36
2007	142	0.39
2008	149	0.41
2009	151	0.42
2010	164	0.45
2011	154	0.42
2012	158	0.44
2013	158	0.43
2014	150	0.41
2015	138	0.45
2016	149	0.45
2017	148	0.46
2018	147	0.47
2019	147	0.47
2020	146	0.48

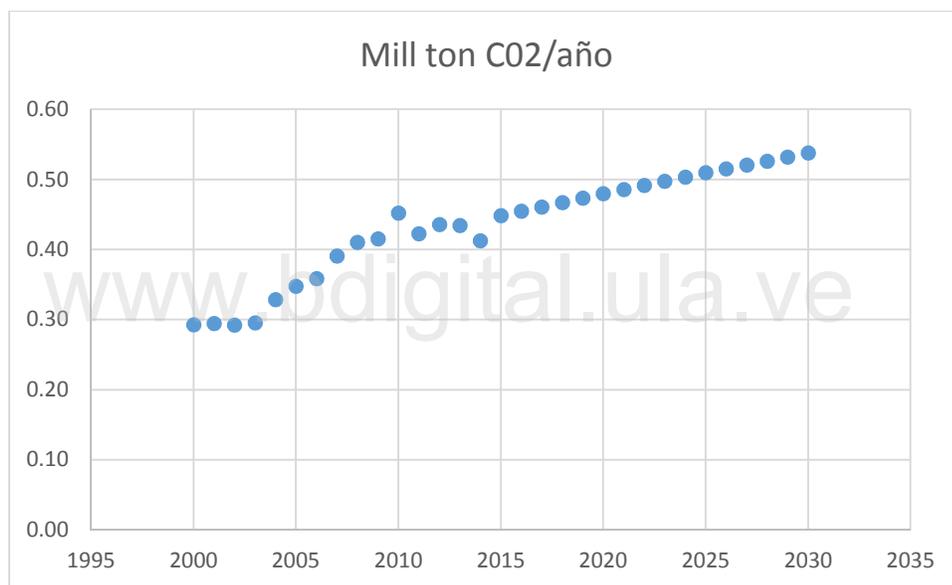
⁶ US Energy Information Agency- *Carbon Dioxide Emission Factors for Transportation Fuels 2011*, el factor de emisiones de CO₂ para gasolina automotor es de 19,64 lbs/gal (libras por galón), equivalente a 2.35 kg CO₂/litro de gasolina durante el proceso de combustión en el vehículo.

Pero la producción del petróleo, el transporte a la refinería, el proceso de mejorado y refinación más el transporte a la estación de servicio también consume energía. Estas son las emisiones "aguas arriba". El total durante el ciclo de vida en el caso de Venezuela promedia así los 2.75 kg CO₂/litro de gasolina.

2021	146	0.49
2022	145	0.49
2023	145	0.50
2024	145	0.50
2025	144	0.51
2026	144	0.52
2027	143	0.52
2028	143	0.53
2029	143	0.53
2030	143	0.54
Total Mill TN CO₂ acumuladas AE 2015-2030		7,91 mill ton CO₂

Fuente: Cálculos propios

GRÁFICO 11. COMPORTAMIENTO DE LAS EMISIONES DE CO₂ EN EL AE 2000-2030



Fuente: Elaboración propia

El gráfico 11 permite observar tres momentos diferentes. El primero abarca el periodo 2000-2004 que refleja una variación mínima. A partir del año 2005 hasta el año 2010 se observa una tendencia hacia el incremento de

emisiones siendo los años 2006-2007 y 2009-2010 donde se produce un incremento marcado, alcanzando el mayor valor en el año 2010.

Esta tendencia hacia el alza está vinculada a la situación económica del país, caracterizada por el aumento del precio del barril de petróleo dando como resultado un mayor poder adquisitivo del venezolano permitiendo el aumento del parque automotor nacional. En contraposición, se observa en el periodo 2011-2014 en el que el comportamiento de las emisiones de CO₂ se inclina hacia la disminución; es necesario señalar que tal comportamiento no es consecuencia de la implementación de políticas gubernamentales orientadas a reducir dichas emisiones, sino que las mismas reflejan la recesión económica del país, y cuyo resultado ha incidido en la disminución del PA, no solo por la no incorporación de nuevos vehículos, sino por la desincorporación de unidades existentes como consecuencia de la escasez de autopartes para repuestos.

El tercer escenario, 2015-2030, demuestra un comportamiento estable con una tendencia constante hacia el incremento de las emisiones de CO₂. El cambio en el comportamiento en relación con el periodo anterior se debe a que dichos datos son proyecciones. No obstante, los mismos coinciden con las proyecciones del Banco Mundial presentadas en el capítulo 1, y que mantienen la preocupación en el ámbito internacional en cuanto a la necesidad de crear mecanismos para reducir las emisiones de GEI e implantar medidas para mitigar sus efectos.

CAPÍTULO 4

Propuesta de arborización en el área de estudio para mitigar las emisiones de CO₂

La propuesta de arborización tiene como objetivo la captura o fijación de las emisiones de CO₂ generadas en el área de estudio, con el fin de mitigar sus efectos. Para tal fin, el diseño de la misma se fundamentó en la ejecución de los siguientes procesos.

4.1 Selección de las especies

Como se mencionó en el Capítulo 1, la propuesta de arborización se basa en la selección de dos tipos de especies: nativas y exóticas; considerando como criterios de selección su capacidad de fijación de CO₂ y el ciclo de vida de ambas, por cuanto la diferencia principal se halla en que las primeras presentan un crecimiento lento, mientras que las segundas se caracterizan por su rápido crecimiento. Estas diferencias en la maduración de las especies, es fundamental para lograr objetivos de mitigación de emisiones en virtud de la capacidad de carga o maduración para la fijación de CO₂.

El Profesor Julio Centeno sostiene: “Con respecto a las especies exóticas, la capacidad de carga se coparía en menos de 20 años, mientras que en las nativas la capacidad se alcanzaría en 60 años o más. Hay especies nativas cuyo período de maduración puede fácilmente exceder los 100 años” (Centeno, J. comunicación personal, 11 de enero de 2017).

Especies nativas: Dentro de estas especies se seleccionaron el Apamate (*Tabebuia Rosea Bertol*) y el Cedro (*Cedrela Odorata*) (ver descripción en anexo 1). Dicha selección se realizó a partir de la revisión del inventario de árboles, realizado en el año 2014, por la Dirección de Ambiente de la Alcaldía del municipio Libertador del estado Mérida.

Especies exóticas: Las especies seleccionadas son la Melina (*Gmelina Arbórea*) y Teca (*Tectona Grandis*) dependiendo de las condiciones del sitio (Ver descripción en anexo 2). Su selección se basa en sugerencias del profesor Julio Centeno como experto en el área forestal.

4.2 Estimación de la capacidad de fijación CO₂ de las especies seleccionadas

Para estimar la capacidad de fijación de CO₂, se deben considerar variables como biomasa seca. Según Valera y Carvajal (2014), existen diferentes métodos que estiman la cantidad de carbono que puede absorber la vegetación de un lugar durante un momento determinado, aunque ninguno de ellos ha sido estandarizado, dado que en cada zona de estudio se deben hacer las consideraciones correspondientes al sector. Cualquiera que sea el modelo usado, es importante determinar la biomasa presente en el sector y posteriormente el contenido de carbono en el tejido vegetal de la misma, con la finalidad de determinar el carbono contenido en la zona de estudio.

Para estos autores, el cálculo de biomasa seca se realiza mediante los siguientes métodos:

Primero, directo o destructivo consiste en medir los diámetros básicos de un árbol, cortarlo y determinar la biomasa a través de su

peso directo de cada uno de sus componentes (raíces, ramas, fuste y follaje); a su vez, la biomasa de ramas y raíces se puede subdividir en categorías diamétricas extrapolando los resultados a grandes áreas. El segundo método es utilizado cuando el árbol es de dimensiones muy grandes por lo que se utilizan métodos de cubicación y estimando el volumen de las trozas con la fórmula de Smallian, y Huber, entre otros; al final se suman estos volúmenes para obtener el volumen total del fuste de las ramas gruesas. Y el tercer método se realiza mediante fórmulas y modelos matemáticos con base en las variables recolectadas en el campo y los datos de inventarios forestales (Valera y Carvajal, 2014, pp. 247).

El resultado obtenido del cálculo de la biomasa equivale a la sumatoria de la biomasa de fuste, biomasa de ramas, y biomasa de hojas, expresándose en kilos o toneladas métricas. Seguidamente, se requiere calcular la acumulación de carbono, la cual se determina mediante la siguiente fórmula (*ibídem*):

$$CA=Bt*Fc$$

Donde:

CA: carbono acumulado (t C/ha);

Bt: biomasa total (t/ha);

Fc: fracción o contenido de carbono.

4.3 El ciclo de vida y la capacidad de fijación de las especies

Las especies, ya sean nativas o exóticas tienen diferente ciclo de vida caracterizado por la rapidez de su crecimiento. La Melina es una especie de muy rápido crecimiento, por lo que en condiciones de suelos y ambientales apropiadas, podría alcanzar su potencial de biomasa en unos 10 años. Eso se ha registrado en plantaciones de Melina en varios países, incluidos Costa Rica, Nicaragua, México y Brasil. En Venezuela recientemente ocurrió lo mismo con las plantaciones de Melina de la *Fundación Kioto*. En el caso de la Melina, el uso de un período de tiempo de 10 o 12 años sería apropiado.

Sin embargo, tal no es el caso para las demás especies seleccionadas. En el caso del Apamate y la Teca, por ejemplo, se necesitaría un período de tiempo considerablemente mayor para alcanzar el potencial de desarrollo de la biomasa en el sitio seleccionado. A los 12 años apenas se habría desarrollado la mitad de la biomasa potencial de esas especies.

En el caso del Cedro se requerirían de entre 35 y 40 años para alcanzar el mismo potencial de desarrollo. A los 12 años la biomasa apenas habría desarrollado un tercio de su potencial. La capacidad de carga del sitio varía de acuerdo con sus características y del ambiente donde se encuentra, por lo que en otras localidades podría ser inferior o superior a la señalada para efectos del proyecto.

Las tasas de crecimiento no son lineales, medidas en toneladas por hectárea/año. Los árboles no crecen lo mismo todos los años. Como se desprende de las curvas, después de un período de desarrollo para alcanzar su estado de madurez, a medida que los árboles envejecen su crecimiento se reduce progresivamente hasta alcanzar un nivel de equilibrio, de manera

similar a lo que ocurre con otros seres vivos, incluyendo a los humanos. Por lo que normalmente se hace referencia al *crecimiento medio anual (CMA) a una edad determinada*.

Por ejemplo, en el caso del Apamate, del gráfico anterior podemos derivar lo siguiente:

Biomasa seca: $220/30 = 7,3$ ton/ha-año CMA a los 30 años

Captura de carbono: $220/(2*30) = 3,65$ ton C/ha/año a los 30 años

Mitigación de CO₂ = $3,65*3,67 = 13,4$ ton CO₂/ha/año a los 30 años.

Tales valores son sólo válidos a la edad determinada: 30 años en este caso. Estos valores varían con la edad. Por ejemplo, en el caso del Apamate, a los 15 años la biomasa seca alcanzaría 160 ton/ha, por lo que su crecimiento medio anual a esa edad sería 10,7 ton/ha/año.

4.4 Estimación de la fijación de las emisiones obtenidas en el área de estudio a partir de las especies seleccionadas

El objetivo de esta fase es identificar tanto la capacidad de fijación de CO₂ de las especies, como las hectáreas y el número de árboles que se requiere para absorber las emisiones de CO₂ generadas en el área de estudio. Con base en esta información, se diseña la estrategia a seguir y se estiman los costos respectivos.

La capacidad de fijación de CO₂ esperada de las especies, se obtuvo dividiendo el total de las emisiones de CO₂ generadas entre el porcentaje asignado a cada especie según su capacidad de fijación de CO₂. El cálculo de las hectáreas se obtuvo a partir de la división de la fijación de CO₂ esperada entre el CO₂ fijado de cada especie. El total de árboles se calculó a partir de

valores estandarizados derivados de estimar que una “hectárea equivale a 400 árboles con un distanciamiento de 5x5” (Centeno, 2014).

TABLA 11. ESTIMACIÓN DE FIJACIÓN DE CO₂, HECTÁREAS Y ÁRBOLES POR ESPECIE

Nombre Científico	Nombre Común	Años	Biomasa seca (tm/ha)	C Fijado (tm/ha)	CO ₂ fijado (tm/ha)	Fijación de CO ₂ TM esperada	Total Árboles	Total Ha	
Tabebuia rosea	Apamate	13 años	95.33	47.67	174.94	1,186,500	2.712,982	6.782	15%
Cedrela Odorata	Cedro Real	13 años	71.50	35.75	131.20	791,000	2.411,539	6.029	10%
Gmelina arbórea	Melina	10 años	220.00	110.00	403.70	4.746.000	4.702.502	11.756	60%
Tectona grandis	Teca	13 años	95.33	47.67	174.94	1.186.500	2.712.982	6.782	15%
Totales						7.910.000	12.540.005	31.350	

Cálculos propios

Luego de obtener los resultados incluyendo el total de las especies seleccionadas, se procedió a evaluar, para cada grupo, su compartimiento en cuanto a su capacidad para fijar el total de las emisiones de CO₂ producidas en el área de estudio y su ciclo de vida.

ESCENARIO 1. ESPECIES NATIVAS

A este grupo pertenecen el Apamate y el Cedro cuya capacidad de fijación de CO₂ es menor que las especies exóticas. Además, son de crecimiento lento, y su madurez puede sobrepasar los 60 años o más. Las plantaciones con estas especies pueden continuar mitigando las emisiones de CO₂ después del 2030. En este caso, cada especie desarrollaría 220 toneladas de biomasa seca y aérea por hectárea, de acuerdo a la capacidad del sitio seleccionado, sólo que lo harían a diferentes edades: el Apamate entre 25 y 30 años, y el Cedro entre 35 y 40 años. Es decir, su capacidad de fijación CO₂ superaría los 15 años propuestos en la presente investigación, generando un beneficio ambiental.

Debido a su lento crecimiento, y para capturar el total de las emisiones generadas arborizando sólo con estas especies, se requiere incrementar el número de hectáreas y por ende de árboles En relación con el escenario general (Tabla 12).

TABLA 12. ESTIMACIÓN DE FIJACIÓN DE CO2 POR LAS ESPECIES NATIVAS

Nombre científico	Nombre Común	Años	Biomasa a seca (tm/ha)	C Fijado (tm/ha/año)	CO2 fijado (tm/ha/año)	Porcentaje de captura de CO2	Total árboles	Total Ha	
Tabebuia rosea	Apamate	13 años	95,33	47,67	174,94	4.746.000	10.851.927	27.13	60 %
Cedrela Odorata	Cedro Real	13 años	71,50	35,75	131,20	3.164.000	9.646.158	24.115	40 %
						7.910.000	20.498.085	51.245	

Fuente: Cálculos propios

ESCENARIO 2. ESPECIES EXÓTICAS

En este escenario se estipuló un periodo de tiempo de 10 años para la melina, con base a su ciclo de vida, la cual es de rápido crecimiento, y llega en poco tiempo a su etapa de madurez o de mayor absorción de CO₂. Si su plantación se realiza en el año 2017, para el 2030 esta especie ya habría mitigado 403 ton CO₂/ha, correspondiente al 60% del total de las emisiones generadas en el área de estudio. En el caso de la teca en un periodo de 13 años habría mitigado 174,94 ton CO₂/ha. Con base en su rápido crecimiento, para estas especies se requieren menos hectáreas que para el escenario anterior (Tabla 13).

TABLA 13. ESTIMACIÓN DE FIJACIÓN DE CO₂ POR LAS ESPECIES EXÓTICAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Nombre científico	Nombre común	Años	Biomasa seca	Carbono Fijado	CO ₂ fijado	Porcentaje de captura de CO ₂	Total árboles	Total Ha	60 % 40 %
			(tm/ha)	(tm/ha)	(tm/ha)			29.843	
Gmelina arbórea	Melina	10 años	220,00	110,00	403,70	4.746.000	4.702.502	11.756	
Tectona grandis	Teca	13 años	95,33	47,67	174,94	3.164.000	7.234.618	18.087	
						7.910.000	11.937.120	29.843	

Fuente: Cálculos propios

4.5 Estimación de costos por escenario

Para la estimación de costos se tomó como referencia los datos sugeridos por el profesor Julio Centeno. Según el autor, el costo de plantación y mantenimiento, en el caso de la empresa Maderas del Orinoco (antigua Proforca), es de aproximadamente US\$300/ha. El costo en bolívares, tomando como referencia la tasa SIMADI a febrero 2017 (700Bs/\$) es de 210.000 Bs por hectárea.

TABLA 14. COSTO PLANTACIÓN ESCENARIO 1

Número Total Ha	Costo BS por Ha	Costo total Bs
51.245	210.000	10.761.450.000,00

Fuente: Cálculos propios

TABLA 15. COSTO PLANTACIÓN ESCENARIO 2

Número Total Ha	Costo BS por Ha	Costo total
29.843	210.000	6.267.030.000,00

Fuente: Cálculos propios

4.6 Análisis de los resultados de los escenarios propuestos

A pesar que para captar los 7,91 millones de toneladas de CO₂ se requieren miles de hectáreas, las plantaciones no tienen que estar todas juntas, es decir, no es necesario conseguir 51.245 o 29.843 hectáreas contiguas, dependiendo del escenario seleccionado. Además, la plantación en consideración podría estar en cualquier parte, no necesariamente en el área de estudio, en este caso en cualquier parte del estado Mérida. Esto es debido a que lo mismo que se emite en cualquier parte del mundo, se puede compensar también en cualquier parte del mundo, descrito por el Protocolo de Kioto. Recapitulando, este protocolo obliga a muchos países industrializados a poner en marcha las políticas necesarias para reducir sus emisiones. Por ejemplo, los países desarrollados pueden reducir su huella de carbono plantando árboles en países en vía de desarrollo mediante la comercialización y financiamiento de las reducciones de emisiones cuantificadas en proyectos que contribuyan al desarrollo sustentable.

Teniendo claro esto, la superficie del área de estudio consta de 907 km², es decir, 90.700 ha, y la superficie del estado Mérida tiene 1.901.648 ha, (Hansen, et al, 2017). Como se había explicado anteriormente, en el casco urbano del municipio Libertado se ha producido un crecimiento urbano inadecuado alterando las condiciones medio ambientales. En cambio, Mérida presenta una amplia variedad de suelos y de características naturales, que van desde zonas bajas y calientes, como El Vigía o la porción que da al Lago de Maracaibo, hasta el Páramo, pasando por docenas de escenarios intermedios, por lo que tiene una gran suficiencia para poder llevar a cabo este tipo de proyectos.

Se tiene que recalcar que a pesar que la Melina y el Apamate tienden a absorber más que los demás árboles dentro del estudio, no se puede realizar una plantación monocultivo para el propósito del objetivo ya que de ello deriva ciertos impactos sociales y ambientales. Según Amigos de la Tierra Internacional para la Sexta Conferencia de las Partes al Convenio Marco sobre Cambio Climático sobre impactos negativos de las plantaciones de árboles a gran escala, explica que tales impactos son ocasionados por la transformación en la tendencia de la tierra o el empobrecimiento de los recursos, sino también los impactos indirectos, los que ocurren por haber dejado de hacer o de invertir esos recursos en modelos de producción forestal más acordes con los ecosistemas naturales y siguiendo las pautas señaladas por la sabiduría, en algunos casos milenaria, de pueblos y comunidades (Amigos de la Tierra Internacional, 2000). Con respecto a los impactos ambientales, en la biodiversidad, los monocultivos de árboles tienen una diversidad biológica muy por debajo de la de un bosque natural u otros ecosistemas naturales. Además, hay evidencias de que los árboles de crecimiento rápido tienen un efecto extractivo sobre la fertilidad del suelo y por lo tanto tienden a empobrecerlo y a desequilibrarlo en su estructura (Movimiento Mundial por los Bosques, 1999). Algunas especies además presentan efectos represores. A través de sustancias que liberan, tiende a reprimir el crecimiento de otras plantas como, por ejemplo, la melina no permite el crecimiento de plántulas que no sean de su misma especie.

Escenario 1

Si bien las especies nativas se caracterizan por un crecimiento lento, implica que su capacidad de absorción es más tardía, y por lo tanto su función de absorción de CO₂ durará más tiempo, e incluso dependiendo de la especie,

pueden alcanzar hasta más de 60 años. La relación costo-beneficio sería positiva en términos ambientales. En función de ello, el uso que se haría con estas plantaciones se enfocaría en usos protectores, entre otros, exceptuando el comercial.

Escenario 2

A diferencia de las especies nativas, las exóticas tienen un grado de crecimiento acelerado, por lo tanto, su capacidad de absorción, en el caso de la Melina no sobrepasaría los 10 años comparándolo con el tiempo de estudio propuesto.

En relación con los costos, la propuesta de las especies exóticas se muestra como la mejor opción en términos económicos (6.267.030.000,00Bs contra 10.761.450.000,00 Bs especies nativas). Sin embargo, las especies nativas seguirían cumpliendo su función de fijación de CO₂ mas allá del tiempo de estudio.

Aunque estos costos pudieran parecer elevados, los mismos serían equivalentes a aproximadamente \$0,7 por ton CO₂. El precio actual en el mercado de bonos de carbono de la Unión Europea supera los \$10/ton CO₂. El Departamento del Tesoro (US Treasury Department) estima un impuesto a las emisiones de CO₂ de \$50/ton para el 2019 (Horowitz, Cronin, Hawkins, Konda, & Yuskavage, 2017). El costo es también equivalente a \$0,3 por barril de petróleo, el 0,6% del valor de mercado calculado a \$50/barril. Esto demuestra la existencia de los medios necesarios para ejecutar proyectos de esta naturaleza.

Es necesario destacar que este tipo de proyectos, puede, además, financiarse a través del Fondo Verde del Banco Mundial, en el marco de los compromisos asumidos en el Acuerdo de Paris de diciembre de 2015; allí

Venezuela se comprometió a reducir en un 20% sus emisiones proyectadas para el 2030.

En síntesis, si iniciativas de esta naturaleza se desarrollan coordinadamente en diferentes centros urbanos del país, podrían contribuir significativamente al alcance de estos compromisos. El Fondo Verde se encuentra disponible precisamente para asistir a los países en desarrollo en el alcance de los mimos. Sin embargo, esta propuesta puede ejecutarse a través de jornadas en las que organismos gubernamentales, instituciones universitarias y la empresa privada colabore con la donación, traslado y mantenimiento de las especies, además de la participación de la sociedad civil como voluntarios.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 5

Conclusiones y recomendaciones

CONCLUSIONES

- Las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero, especialmente de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), han aumentado desde 1750 debido a la actividad humana. En 2011, las concentraciones de estos gases de efecto invernadero eran de 391 ppm (partes por millón), 803 ppmm y 324 ppmm, respectivamente, valores que excedían los niveles preindustriales en aproximadamente el 40%, el 150% y el 20%. Esta acumulación de gases, que produce lo que se conoce como efecto invernadero causa el aumento de la temperatura del planeta que resulta en efectos nocivos para la vida. Por lo tanto, es urgente reforzar los esfuerzos internacionales para obligar la comprensión de este hecho mundial y procurar la consecución de esfuerzos por parte de todos los países firmantes de los acuerdos sobre cambio climático.
- De los GEI, el dióxido de carbono es el más importante. Está asociado a actividades humanas y es el segundo gas más importante en el calentamiento global después del vapor de agua. Este gas tiene fuentes antropogénicas y naturales. En relación con las fuentes antropogénicas, el CO₂ se emite principalmente por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y sus derivados y gas natural), leña para generar energía, la tala y quema de bosques. Lo que evidencia el impacto del hombre sobre el planeta y su contribución al Cambio climático. Entre las actividades humanas que contribuyen a la emisión de GEI destacan: 1) El 25,9% suministro de energía, 2) El 19% a la industria, 3) El 17,4%

a la silvicultura, 4) El 13,5% a la agricultura, 5) *El 13,1% al sector transporte*, 6) Edificios residenciales y comerciales con el 7,9% y 7) El 2,8 corresponde a desechos y aguas de desechos.

- El método natural de reducción de emisiones de CO₂, es el que se produce mediante la captación de CO₂ que realizan los árboles y plantas gracias a la fotosíntesis, reacción química por la cual las plantas captan CO₂ y liberan oxígeno (O₂). Por lo tanto, la siembra de árboles constituye una de las medidas más idóneas para reducir o compensar la huella de carbono y dar cumplimiento a las acciones para mitigar el cambio climático.
- Una tonelada de carbono en la madera de un árbol o de un bosque, equivale a 3,5 toneladas aprox. de CO₂ atmosférico. Una tonelada de madera con 45% de carbono contiene 450 Kg. de carbono y 1575 Kg. de CO₂. Árboles maduros, plantados a distancia de 5 metros forman bosque de 400 árboles por hectárea. Si cada árbol contiene 300 Kg. de carbono, y 42% de la madera del árbol es carbono, esto significaría que cada árbol pesa 714 Kg. En este caso, la captura de carbono sería de 120 toneladas por hectárea (400 x 714 x 42%).
- Los programas de reforestación no son suficientes para compensar la tasa de deforestación, por lo que el sector forestal es una fuente neta de emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero.
- El parque automotor y la emisión de GEI constituye uno de los sectores que más contribuye a las emisiones. En Venezuela el uso vehicular supera a países como Brasil y Colombia, lo cual resulta alarmante ante la falta de medidas para mitigar la huella de carbono de esta actividad humana.

- La compensación de las emisiones estimadas y proyectadas con base en el modelo de regresión lineal simple, pueden ser compensadas mediante un plan de arborización en zonas y áreas específicas del área de estudio o en cualquier otra zona del Municipio Libertador o del estado Mérida.
- Las especies nativas de árboles presentan un crecimiento lento, cuya capacidad de absorción de CO₂ se alcanzaría en 60 años. Mientras que las especies exóticas coparían su capacidad de carga en menos de 20 años. Esta diferencia en la maduración de las especies es fundamental para lograr objetivos de mitigación de emisiones, por lo que este criterio debe ser considerado para el desarrollo de proyectos forestales.
- Del análisis de los escenarios de arborización destaca el caso de las especies nativas el Apamate, mientras que de las especies exóticas la Melina evidencia la mayor captación CO₂ fijado.
- En el análisis económico de los dos escenarios de arborización, el de las especies exóticas resulta menos costoso; no obstante, debe considerarse la capacidad de absorción de CO₂ y el periodo de vida de las especies para tomar decisiones. Los costos alcanzan para el escenario de las especies nativas un total de Bs 10.761.450.000,00 mientras que el escenario de especies exóticas alcanza un costo de total de Bs 6.267.030.000,00
- El municipio Libertador del estado Mérida es un territorio que goza de un importante lugar en la preservación de ecosistemas en Venezuela, en virtud de sus reservas de agua, de bosques húmedos, de especies vegetales y animales propios de la zona andina que han conducido a definir importantes áreas protegidas. Así mismo, es el principal centro urbano del estado Mérida y por tanto tiene una elevada densidad

poblacional que implica el desarrollo de actividades humanas de alto impacto ambiental.

- El desarrollo urbano y su consecuente deforestación vinculada al aumento del uso de transporte exige el diseño e implantación de planes de arborización que abarquen desde avenidas principales, parques, plazas y áreas periurbanas en las cuales el aumento del número de árboles compense y mitigue las emisiones de GEI.

RECOMENDACIONES

- Entre las actividades humanas generadoras de GEI está el uso de transporte vehicular. En un planeta que avanza hacia la urbanización acelerada, los problemas derivados de este proceso pueden tomarse en cuenta con anticipación e instrumentar medidas para mitigar el impacto que genera el aumento de áreas urbanas, es decir, el aumento de la deforestación de bosques para la construcción de áreas urbanas y el aumento en el uso del transporte, entre otras actividades. Los planes de urbanización deben considerar zonas de arborización como una medida para mitigar o compensar la huella de carbono, es decir, incorporar indicadores de sustentabilidad en los futuros planes de desarrollo urbano para incorporar una medida del impacto de la actividad humana sobre el planeta.
- Para calcular la captura de carbono es necesario conocer el período en el cual el bosque alcanzará su madurez siempre tomando en consideración que los valores de captura de carbono dependen del tipo de árbol, clima y condiciones del suelo. La acumulación de carbono en los bosques alcanza un punto de saturación cuando los árboles logran

su madurez y desarrollo completo. No obstante, los esfuerzos para desarrollar proyectos para la captura de carbono deben continuar y renovarse para impedir la emisión de carbono a la atmósfera.

- En cuanto a las plantaciones forestales para fijación de carbono, es muy importante saber administrar las decisiones para determinar las especies que coparan las zonas seleccionadas para tal fin. En la actualidad los posibles usos del suelo conllevan a discusiones interminables sobre la idoneidad de establecer plantaciones o destinarlos a urbanismos residenciales o industriales. Muchas decisiones se fundamentan en el cálculo de costo\beneficio que en muchos casos terminan por desecharse cuando resultan muy costosas para la opción de reforestación. Sin embargo, en la actualidad los diferentes acuerdos en materia climática han abierto la posibilidad de contar con recursos para financiar la totalidad de proyectos de reforestación con fines sustentables.
- La actual crisis social y económica de Venezuela ha resultado en una contracción en el aumento del parque automotor del país. Al realizar la estimación de emisiones y su correspondiente proyección se observan tres fases caracterizadas, en términos generales, por un crecimiento lento del parque automotor y de las emisiones. Sin embargo, si la situación económica del país se modifica en los próximos años es de esperar que aumente el parque automotor y con ello las emisiones, producto del aumento en el poder adquisitivo de la población. Esta posibilidad, así como la proyectada en esta investigación exigen la instrumentación de medidas para mitigar o compensar la emisión de GEI, las cuales deben tender hacia la arborización de zonas tanto

urbanas como periurbanas como opción para mitigar la huella de carbono.

- Los árboles en zonas rurales aportan un sinnúmero de ventajas y beneficios ya que esto ayudan a purificar el aire, reducir el ruido, el consumo energético, a mejorar el paisaje urbano y calidad de vida de los habitantes. Los efectos positivos sobre la salud incluyen tanto su potencial para reducir la contaminación acústica como también su efecto refrescante regulando el clima alrededor y también, además de ser sumideros de carbono, las hojas atrapan partículas tóxicas suspendidas en el aire. Un árbol aproximadamente puede absorber en un día los contaminantes por centenares de autos. La calidad del aire que proporcionan los árboles se traduce en un hábitat más saludable, donde es más fácil aliviar las presiones del día a día y mejorar la capacidad de concentración y el estrés.
- Los árboles maduros pueden regular el flujo del agua y mejoran la calidad del agua al plantar en cuencas de ríos para disminuir los efectos de la sequía o la temporada de lluvia, además, los árboles colocados de manera adecuada en torno a los edificios reducen las necesidades de aire acondicionado un 30% y ahorran entre un 20% y un 50% de calefacción. El paisajismo, especialmente con árboles, puede incrementar el valor de un inmueble un 20% (FAO, 2015)

REFERENCIAS

- Amigos de la Tierra Internacional [2000]. *Árboles problemáticos: Una Compilación de Testimonios sobre los impactos negativos de las plantaciones de árboles a gran escala, preparada para la Sexta Conferencia de las Partes al Convenio Marco sobre Cambio Climático*. San Francisco.
- Benevides, H., y Leon, Gloria [2007]. *Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático*. IDEAM METEO/008. Nota Técnica del IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Cámara de Fabricantes Venezolanos de Productos Automotores [2015]. *Reporte Especial Parque Automotor Venezuela (al 31-12-2015)* FAVENPA.
- Camargo, María y Guerrero, Omar [1997]. *Repercusiones ambientales significativas en la ciudad de Mérida*. Venezuela. *Geoenseñanza* 2-1997(2) p. 107 – 126.
en <http://www.oei.es/historico/decada/portadas/marcoprotocokioto.htm>.
- Camps Arbostain, M.; Martínez de Arana, I.; Mendarte, S.; Aizpurúa, A.; Pinto, M. [2004]. *Pautas para inducir una acumulación adicional de carbono orgánico en biomasa forestal y en suelos agrícolas, piscícolas y forestales en la Comunidad Autónoma del País Vasco*. *Edafología* 11(2), 171-196
- Cartaya, V. [2013]. *Las Metas del Milenio en Venezuela*. Caracas.
- Centeno, Julio [2014]. *La Huella de Carbono*. Recuperado en <https://drive.google.com/file/d/0B7kWsAoo4lY0Qlp5azUwNUdzYjA/view>
- CEPAL, 2011 *Impactos del Sector Transporte en el Cambio climático*. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos.
- Contreras, J. M., Molina, E. y Arteaga, P. [2010]. *Introducción a la programación estadística con R para profesores*. Departamento de Didáctica de la Matemática. Universidad de Granada
- Dávila Huerto, Ronald. J. [2010]. *Estudio prospectivo de la captura de carbono (CO₂) con la instalación de 200 has de bosques de eucalipto, en la provincia Daniel Carrión, región de pasco 2010-2020*. Universidad nacional hermilio valdizan, Huánuco, Perú.

- ESPINDOLA, César y VALDERRAMA, José O. Huella del Carbono. *Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. Inf. tecnol.* [online]. 2012, vol.23, n.1 [citado 2017-01-23], pp.163-176. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071807642012000100017&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>.
- FAO [2011]. *Situación de los Bosques del Mundo*. 2011. 143 p. Roma, Italia.
- FAO [2015]. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015*. Informe nacional, Venezuela. Evaluación de recursos forestales mundiales 2015. Rome.
- Gayoso, J. y Guerra, J. [2005]. *Contenido de Carbono en la Biomasa Seca Aerea de Bosques Nativos en Chile*. Revista Bosque, N° 26(2), pp. 33-38. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Guesnerie, Roger [2006]. *¿Nos llevará a la ruina combatir el efecto invernadero?* Madrid: Ediciones Akal, S.A., 2006, pp. 64. http://www.revistasice.info/cache/pdf/BICE_2834_13-28_A2A7B51890D1933E3FF12B4FFF842B16.pdf
- Gutierrez, H., De la Vara, R. [2008] *Análisis y diseño de experimentos*. Segunda Edición. Mc Graw Hill.
- Grupo Empresarial Nutresa, Gerencia de Operaciones. [2013]. *Manual Transporte Limpio. Enfoque Huella de Carbono para el subsector transporte terrestre automotor de carga*. Gerencia de Operaciones de Compañía de Galletas Noel S.A.S. con el apoyo de GAIA Servicios Ambientales. [Documento en línea]. Disponible: <https://www.gruponutresa.com/wp-content/uploads/2016/10/manual-transporte-limpio.pdf>
- Horowitz, J., Cronin, J., Hawkins, H., Konda, L., & Yuskavage, A. [2017]. Office of Tax Analysis Working Paper 115. *Methodology for Analyzing a Carbon Tax, (January)*, pp. 28.
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. *High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change*. Science 342 (15 November): 850–53. Data available online from: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend.

2013. "Hansen/UMD/Google/USGS/NASA Tree Cover and Tree cover Loss and Gain, Country Profiles." University of Maryland, Google, USGS, and NASA. Accessed through Global Forest Watch on [February 2nd, 2017]. www.globalforestwatch.org
- Instituto Nacional de Estadística [2011]. *Indicadores Ambientales 2010*. Caracas: INE en <http://www.ine.gov.ve/documentos/SEN/menuSEN/pdf/subcomiteambientales/IndicadoresAmbientales2010.pdf>.
- Instituto Nacional de Estadística [2011]. *Proyecciones de población con base al censo 2011*. Documento en línea. Consultado en: http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com_content&view=category&id=98&Itemid=51
- IPCC [2007]. *Cambio climático*. Informe de Síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I,II,III al Cuarto Informe IPCC.Ginebra, Suiza.
- IPCC [2013]. *Cambio climático*. Bases Físicas. Resumen para responsables de políticas. Grupo de Trabajo II. OMM, PNUMA.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales,PNUMA, GEF. [2005]. *Primera Comunicación Nacional en Cambio climático de Venezuela*. Caracas-Venezuela.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España [2014], *Sumideros de carbono*. Recuperado de <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros-de-carbono/>
- Movimiento Mundial por los Bosques [1999]. *Campaña Plantaciones: Plantaciones de pulpa de papel, un problema creciente*. Instituto Tercer Mundo, Jacson 1136, Montevideo Uruguay.
- Naciones Unidas [2015]. *21 ° Convención Marco sobre el Cambio climático, Acuerdo de París*. París: Naciones Unidas.
- Pere, Rivera, y Joan, Mogas [2015]. *El valor de la fijación de carbono en los programas de forestación*. Retrieved March 19, 2015, from
- Pinzón, Mauricio., Corradi, Chiara., Lara, Wilson., Perugini, Lucía, & Ulloa, Astrid. [2007]. *Sembrando bosques, cambio climático global*. Mecanismo de desarrollo Sembrando bosques, opciones frente al cambio climático global Mecanismo de desarrollo. Bogotá: UNODC (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito)
- PNUMA. [2002]. *Para Comprender el Cambio climático: Guía Elemental de la Convención Marco de las Naciones Unidas y el Protocolo de Kyoto*, 1–21. Bonn: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Secretaría sobre el Cambio climático (CMNUCC) .pp. 21.

- Ríos, Arango, Vicentini y Acevedo-Daunas [2013]. *Estrategias de Mitigación y Métodos para la Estimación de las Emisiones de Gases Efecto Invernadero en el Sector Transporte*. BID. Dirección de Transporte Sostenible. IDB-MG-152
- Salas, José e Infante, Angel. [2006]. "Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales." *Revista Forestal Latinoamericana*, N° 40, 2006 pp. 47-70.
- Solomon, Susan., Qin, Dahe. Manning, Martin [2007]. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ipcc Wg1, 23–78.
- Valera, Wladimir., y Carvajal, Nelson (2014). "Valoración Económica del Secuestro de Carbono en un sector del Parque Nacional Waraira Repano." *Revista Anales de la Universidad Metropolitana* (Caracas). Vol.-14,Nº 2, 2014: 241-264
- Vilanova, Emilio., Ramírez,Hirma., y Torres, Armando. [2010]. "El almacenamiento de carbono en la biomasa aérea como indicador del impacto del aprovechamiento de maderas en la Reserva Forestal Imataca, Venezuela." *Interciencia*, Septiembre 2010, Vol. 35 N° 9 pp. 659-665.
- Zambrano, Alexis., Franquis, Feliz., Infante, Angel. [2004]. "Emisión y Captura de Carbono en los Suelos en Ecosistemas Forestales." *Revista Forestal Latinoamericana*. N° 35/2004. Págs. 11-20.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

http://vereda.ula.ve/jardin_botanico,

<http://www.eltecal.com>

http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Especies_plantaciones/MELINA/Manual%20para%20los%20productores%20de%20melina.pdf.

http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/Composicion-de-la-atmosfera.asp

<https://blogociologico.blogspot.com/2009/09/calentamiento-global-terrestre-nuestro.html>

http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2013&name_desc=true&start=1960&view=chart

http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2013&name_desc=true&start=1960&view=chart

<http://www.fao.org/docrep/008/j5484s/j5484s07.htm>

<http://www.ine.gov.ve/documentos/SEN/menuSEN/pdf/subcomiteambientales/IndicadoresAmbientales2010.pdf>.

https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/figure-spm-3.html

https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf

<http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros-de-carbono/>

http://www.el-nacional.com/noticias/economia/fmi-inflacion-venezuela-2016-sera-500_23184.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Municipio_Libertador_\(M%C3%A9rida\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Municipio_Libertador_(M%C3%A9rida))

ANEXOS

Anexo 1. Especies Nativas

APAMATE (TABEBUIA ROSEA (BERTOL))



Fuente: Recuperado de http://vereda.ula.ve/jardin_botanico/areas-tematicas/jardin-caducifolio/apamate/

Familia: BIGNONIACEAE

Jardín Temático: Bosque Seco Tropical

Descripción: Árbol de 20-35 m de altura, su tronco llega a tener 70 cm de diámetro y a veces suele estar ligeramente acanalado, con pocas ramas gruesas horizontales y ramificación simpódica con la copa estratificada.

Presenta en su corteza escamas entre pardo grisáceos a amarillentas.

Su sistema radical es profundo y requiere suelos húmedos. Su vida es bastante larga. Sus flores presentan una gama de colores que van desde el amarillento hasta el morado, todas muy vistosas y llamativas, suelen estar presentes cuando el árbol está desprovisto de hojas. Sus frutos son capsulares de 25-35 cm de largo, con semillas comprimidas tenuemente y aladas.

Distribución: Árbol distribuido desde México hasta el norte de Sudamérica. En Venezuela crece en los bosques decíduos de las tierras calientes. También se puede encontrar en los bosques húmedos de Guayana y de los Estados Zulia y Yaracuy.

Usos y Curiosidades: El nombre científico *Tabebuia* es un vocablo con el cual los indígenas de Brasil designan a éste árbol. Se le atribuye la propiedad de “llamar al agua”, porque se le encuentra a menudo cerca de los cursos de agua. Es un árbol apropiado para decorar avenidas, calles parque y plazas. La madera toma color gris al ser expuesta al sol y al aire, toma buena pulimento y es fácil de labrar.

www.bdigital.ula.ve

CEDRO (CEDRELA ODORATA L)



Fuente: Recuperado de http://vereda.ula.ve/jardin_botanico/areas-tematicas/jardin-caducifolio/apamate/

Familia: MELIACEAE

Jardín Temático: Bosque Caducifolio Tropical

Descripción: Árbol desprendiendo olor aliáceo, 25-40 m de alto; Raíces gruesas y superficiales; Tronco recto cilíndrico con pequeños aletones; de corteza gruesa de hasta 2 cm de espesor, gris claro a marrón grisáceo, fisurada en placas en árboles adultos; Copa de forma redondeada a irregular; Hojas alternas, compuestas, paripinnadas de 30-70 cm de largo, con 5-11 pares de folíolos, opuestos, enteros, algo coriáceos, asimétricos lanceolados a oblongos, de 8-17 cm de largo, 2.5-5,5 cm ancho, verde oscuro y lustroso

por el haz, envés más claro; inflorescencias panículas terminales, flores blanquecinas pequeñas, 6-9 mm de diámetro; Los frutos cápsulas leñosas oblongo elipsoidales de 2,5- 5 cm, péndulas, de color marrón con lentécelas amarillas, dehiscencia se verifica en 5 secciones, que dejan libre las semillas aladas de 2, 2,5 cm de largo, aptas para ser dispersadas por el viento.

Distribución: Neotrópicos, desde México Centroamérica, islas Antillanas, y Sur América tropical llegando a Brasil y Perú, en Venezuela en zonas cálidas con 3 a 5 meses de sequía y hasta los 1000 m SNM., alcanzando su óptimo desarrollo en los llanos occidentales, especialmente en Barinas; se adapta bien a los medios urbanos pudiendo crecer hasta los 2000msnm.

Usos: Esta especie, es el árbol emblemático del Edo. Barinas; su fina madera aromática es repelente de los insectos y ligera, es apreciada en trabajos de carpintería para la fabricación de muebles y gabinetes, construcciones, también es utilizada en decoración de interiores y viviendas, chapillas decorativas así como en tallas, para esculpir, ebanistería; así como componentes de madera para la construcción barcos, botes y en la industria aeronáutica; su madera es astringente, y es considerada como febrífuga y tónica, al igual que sus hojas.

Anexo 2. Especies exóticas

MELINA (GMELINA ARBOREA)



Fuente: Recuperado en http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Especies_plantaciones/MELINA/Manual%20para%20los%20productos%20de%20melina.pdf

Familia: Lamiaceae

Jardín Temático: Bosque Caducifolio

Descripción: Esta es una especie de rápido crecimiento, oportunista en los bosques húmedos y se clasifica como una pionera de vida larga. Su capacidad de rebrote es excelente y los brotes presentan un crecimiento rápido y vigoroso. Es caducifolia, en las zonas secas, puede llegar a medir 30 m de altura y presentar más de 80 cm de diámetro. Crece usualmente con un fuste limpio de 6 hasta 9 m y con una copa cónica. Copa: Presenta una copa amplia en sitios abiertos, pero en plantación su copa es densa y compacta

Distribución: La Gmelina arborea es nativa de India, Bangladesh, Sri Lanka, Myanmar, Tailandia, sur de China, Laos, Camboya y Sumatra en Indonesia y es una importante fuente maderera en las regiones tropicales y subtropicales de Asia. Naturalmente se desarrolla entre las latitudes 5° N -30° N, desde el sudeste asiático, incluyendo Pakistán hasta Camboya y China meridional

Los mejores sitios para melina se ubican en las partes bajas de los terrenos, donde por lo general tienen mayor disponibilidad de agua y nutrientes y los sitios con buenos contenidos de calcio y magnesio y los ubicados en áreas donde el uso anterior era charral o cultivos agrícolas. Las plantaciones de melina no prosperan en suelos muy erosionados o compactados, de topografía quebrada y muy superficiales, en esos sitios los árboles muestran características indeseables como fustes torcidos, poca altura, muy ramificados y aspecto arbustivo, por esta razón, se sugiere plantar esta especie en suelos profundos, húmedos, pero bien drenados y sin obstáculos de desarrollo radical.

www.bdigital.ula.ve

Usos: Por su virtud de rápido crecimiento, es una especie de uso múltiple que presenta gran potencial agroforestal, puede emplearse como cerca viva, cortina rompevientos y linderos maderables. Por su ritmo de crecimiento tan acelerado no permite asociados con cultivos, a no ser que estos sean establecidos bajo la modalidad taungya, esto es que se siembren junto a la especie y por única vez, entre ellos destacan el maíz y el frijol. Su leña es buena, quema sin humo pero deja muchas cenizas, su carbón es de calidad aceptable y es uno de los mejores árboles para pulpa y papel; sus hojas dan un forraje apreciado por el ganado, la corteza, raíces y frutos presentan propiedades medicinales, es una excelente especie melífera, y se puede plantar como ornamental.

TECA (TECTONA GRANDIS)



Fuente: recuperado en <http://www.eltecal.com/Descripcion.html>

Familia: Lamiaceae

Jardín Temático: Bosque Deciduos

Descripción: Es un árbol que en su edad madura puede alcanzar grandes dimensiones con alturas alrededor de los 35 metros. El fuste es recto y en ocasiones reforzado en la base con contrafuertes que le dan una forma estriada. Las características de estos contrafuertes pueden estar ligadas a la

forma de la topografía y/o estructura del suelo. Los diámetros pueden superar los 100 centímetros.

Los crecimientos óptimos se alcanzan donde la precipitación media anual se encuentra entre los 1.200 a 2.500 mm por año y esta se produce en un 75% durante el periodo de lluvia. En el bosque natural los árboles de Teca se encuentran en forma aislada, pero pueden formar agrupaciones prácticamente puras en lugares donde las condiciones le son favorables.

Los bosques de Teca se encuentran generalmente en terrenos de colinas u ondulados, pero también se pueden desarrollar en terrenos planos aluviales. Su rango de altitud máxima son los 1.000 metros sobre el nivel del mar.

Distribución: viene siendo explotado en el Asia desde hace ya muchos cientos de años y en la última época en toda la franja tropical del mundo a través de plantaciones forestales.

La distribución natural del género es discontinua, se encuentra en la India, Burma, Laos, Tailandia y Filipinas. Es probable que la Teca no sea autóctona de Indonesia, se supone fue introducida a Java hace más o menos 500 años. En la actualidad el árbol de Teca se encuentra distribuido en casi todas las áreas tropicales del planeta en plantaciones.

En Asia el árbol de Teca se desarrolla en forma natural en varios tipos de bosques deciduos, alcanzando mayores dimensiones en un clima húmedo tropical que presente un marcado periodo de sequía durante el año. La Teca es una especie pionera con un largo ciclo de vida, que es capaz de persistir, dominar y regenerarse naturalmente hasta llegar a una fase de sucesión clímax de su rango natural.

Usos: En general, la Teca es una madera bien conocida en todo el mundo por sus excelentes cualidades físicas, entre las cuales cabe destacar la

resistencia, el color y la manejabilidad (más). Las forestales son igualmente muy apreciadas por los productores, como por ejemplo el rendimiento, resistencia ecológica y buena y fácil comercialización. Todos los tipos de madera tiene como mínimo un uso, y en este sentido la Teca se ha ganado la opinión de muy apreciada ante la presencia de otras maderas, provenientes de plantaciones forestales, se la considera como muy superior y entre las más cotizadas, con su mercado internacional propio.

Anexos recuperados de la página oficial del Jardín Botánico Mérida, Venezuela http://vereda.ula.ve/jardin_botanico, de la página <http://www.eltecal.com> y del Manual de para los productores de Melina http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Especies_plantaciones/MELINA/Manual%20para%20los%20productores%20de%20melina.pdf.