



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE CO₂e EN UNA INSTITUCIÓN DE
EDUCACIÓN SUPERIOR GENERADA POR RESIDUOS SÓLIDOS: DISEÑO
DE UNA APLICACIÓN INTERACTIVA**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTA

Ing. Guadalupe Hernández Gerónimo

DIRECTORES:

Dr. José Ramón Laines Canepa

MIPA. Sergio Ramos Herrera

Villahermosa, Tabasco.

Abril 2022



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

Villahermosa, Tab., a 11 de Febrero de 2022

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a la **C. GUADALUPE HERNÁNDEZ GERÓNIMO** egresada de la Maestría en **INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE CO₂e EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR GENERADA POR RESIDUOS SÓLIDOS: DISEÑO DE UNA APLICACIÓN INTERACTIVA"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



C.c.p. - Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401. 337-9611. 337-9706, Fax (993) 354-4308 y 358-1579

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

FEBRERO 11 DE 2022

**C. GUADALUPE HERNÁNDEZ GERÓNIMO
PAS. DE LA MAESTRIA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y
GESTIÓN AMBIENTAL
PRESENTE**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ingeniería, Tecnología y Gestión Ambiental titulado: **"ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE CO₂e EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR GENERADA POR RESIDUOS SÓLIDOS: DISEÑO DE UNA APLICACIÓN INTERACTIVA"**, asesorado por el Dr. José Ramón Laines Canepa y M.I.P.A. Sergio Ramos Herrera, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por el M.I.A. Jesús Manuel Carrera Velueta, Dra. Leonor Patricia Güereca Hernández, Dr. José Ramón Laines Canepa, Dra. Carolina Zequeira Larios y Dra. Lilia María Gama Campillo

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE


DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, 337-9611, 337-9706, Fax (993) 354-4308 y 358-1579
Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques
www.ujat.mx



CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE CO₂e EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR GENERADA POR RESIDUOS SÓLIDOS: DISEÑO DE UNA APLICACIÓN INTERACTIVA”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 11 de febrero del dos mil veintidós.

AUTORIZO

GUADALUPE HERNÁNDEZ GERÓNIMO



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ciencias
Biológicas

Jefatura de Posgrado



Villahermosa, Tabasco a 31 enero de 2022.

C. GUADALUPE HERNÁNDEZ GERÓNIMO

EST. DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA,
TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los documentos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados en el PNPC-CONACyT.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones y el reporte de originalidad de su documento recepcional. Con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, el responsable del programa de maestría, realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y emitió las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: ***"Estimación de la emisión de co₂e en una institución de educación superior generada por residuos sólidos: diseño de una aplicación interactiva"***.

OBSERVACIONES:

1. El índice de similitud obtenido fue de 15%, el cual se considera razonablemente bajo y dentro del estándar (15 - 20%) de tolerancia de acuerdo a las Políticas y Lineamientos para el uso y manejo del Software Antiplagio de la UJAT.
2. Aun que el índice de similitud obtenido indica coincidencias, éstas se refieren a frases cortas y leguaje propio del código de la aplicación web desarrollada. Lo anterior no demerita el trabajo recepcional, por el contrario, se confirma su originalidad.

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: posgrado.dacbiol@ujat.mx



Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y desperdicio de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ciencias
Biológicas

Jefatura de Posgrado



3. Se adjunta, el reporte de revisión de la tesis a través de la herramienta Turnitin iThenticate.
4. Finalmente, se le solicita a la C. Guadalupe Hernández Gerónimo, integrar en la versión final de tesis, este oficio e informe de originalidad, realizado por el Turnitin iThenticate

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"


DR. ALLAN KEITH CRUZ RAMÍREZ
JEFATURA DE POSGRADO

UJAT



DIVISION ACADEMICA
CIENCIAS BIOLÓGICAS
JEFATURA DE POSGRADO

C.C.P. Dr. José Ramón Laines Canepa. Director de tesis
MIPA. Sergio Ramos Herrera Co-Director de tesis
Archivo



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA

Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: posgrado_dacbiol@ujat.mx

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx



ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE CO₂e EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR GENERADA POR RESIDUOS SÓLIDOS: DISEÑO DE UNA APLICACIÓN INTERACTIVA

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.coursehero.com Internet	168 palabras – 1%
2	cdigital.uv.mx Internet	98 palabras – 1%
3	documentop.com Internet	81 palabras – 1%
4	www.gob.mx Internet	70 palabras – < 1%
5	plotly.com Internet	63 palabras – < 1%
6	tesis.ipn.mx Internet	51 palabras – < 1%
7	www.snieg.mx Internet	47 palabras – < 1%
8	docplayer.es Internet	44 palabras – < 1%
9	dof.gob.mx Internet	43 palabras – < 1%



AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo en modalidad becario, con número 745016, para la realización de mis estudios de maestría y desarrollo de este trabajo.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco (CCYTET), por el estímulo otorgado dentro de la convocatoria “apoyo a la actividad académica de los recursos humanos para la ciencia y la tecnología en Tabasco”.

A mis asesores, el Dr. José Ramón Laines Canepa y al M.I.P.A. Sergio Ramos Herrera, por su tiempo y aportes científicos para el desarrollo de mi proyecto de tesis.

A mi comité sinodal integrado por: M.I.A Jesús Manuel Carrera Velueta, Dra. Leonor Patricia Güereca Hernández, Dr. José Ramón Laines Canepa, Dra. Carolina Zequeira Larios y Dra. Lilia María Gama Campillo por sus constantes revisiones que fueron fundamentales para mejorar la calidad de este trabajo.

A mis maestros, compañeros y al equipo del CATRE; de quienes me llevo buenas experiencias y grandes aprendizajes.

A mi familia, en especial a mi madre, a mi tío Eddy y a mi abuelita Alma Doris, por ser quienes me inspiran a ser mejor cada día.

A quien me dio compañía y motivación a lo largo de este tiempo.





RESUMEN

Las Instituciones de Educación Superior (IES) son sitios donde se generan grandes cantidades de residuos, lo cual puede propiciar problemas ambientales, tales como emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). El objetivo de este estudio fue estimar la emisión de CO_{2e} en una IES derivada de los Residuos Sólidos (RS) generados y desarrollar una aplicación web interactiva para facilitar su cálculo.

La generación de los RS fue monitoreada diariamente durante un periodo de un año escolar. Para conocer la generación de subproductos generados fue necesaria la separación manual de estos. La emisión de los residuos inorgánicos se estimó utilizando FE obtenidos de diversas fuentes bibliográficas y para el caso de los residuos orgánicos se obtuvo mediante cálculos estequiométricos considerando los posibles escenarios de su disposición final, asimismo, se propusieron FE para este último grupo.

Durante el año de estudio, se generó un total de 20.92 t de RS en la IES. Se observó que los meses de mayor generación fueron agosto y febrero. Los subproductos que más se generaron fueron materia orgánica vegetal (restos de frutas y verduras) y tereftalato de polietileno (PET). La emisión total generada por el manejo de los RS fue de -4188.95 kgCO_{2e} , emisión que se representa negativa debido al aprovechamiento de los subproductos. Finalmente, se desarrolló la aplicación web “ESTIMCatre” la cual es de libre acceso y se puede ingresar mediante el siguiente enlace: <https://estimcatre.shinyapps.io/AppR/>.

Los resultados de este estudio muestran datos relevantes de los hábitos de consumo y generación de RS de una IES del sureste de México, así como la importancia de su aprovechamiento, principalmente para la reducción de las emisiones.

Palabras clave: factores de emisión, gases de efecto invernadero, residuos.



CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	8
RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	18
2. JUSTIFICACIÓN.....	21
3. ANTECEDENTES.....	24
3.1. Emisiones de GEI.....	24
3.2. Emisiones de GEI generada por residuos.....	25
3.2.1. Softwares como herramienta de cálculo.....	26
3.3. Estudios de generación de residuos y emisiones en instituciones educativas.....	26
4. MARCO TEÓRICO.....	30
4.1. Residuo.....	30
4.1.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU).....	30
4.1.1.1. Residuos orgánicos.....	30
4.1.1.2. Residuos inorgánicos.....	30
4.1.2. Residuos de Manejo Especial (RME).....	31
4.1.3. Residuos Peligrosos (RP).....	31
4.2. Degradación biológica de RSU.....	32
4.2.1. Degradación aerobia.....	32
4.3. Efecto Invernadero.....	32
4.4. Gases de Efecto Invernadero (GEI).....	33
4.4.1. Dióxido de Carbono (CO ₂).....	33
4.4.2. Metano (CH ₄).....	33



4.4.3.	Óxido Nitroso (N ₂ O)	33
4.4.4.	Ozono (O ₃)	34
4.4.5.	Vapor de Agua (H ₂ O).....	34
4.5.	Emisiones de CO ₂ equivalentes (CO _{2e})	34
4.6.	Cálculo de emisiones de GEI (CO _{2e}).....	36
4.7.	Factores de emisión	36
4.8.	Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	38
5.	OBJETIVOS	40
5.1.	OBJETIVO GENERAL.....	40
5.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40
6.	MÉTODO	42
6.1.	Ubicación del sitio	42
6.2.	RS generados en la DACBiol y acopiados en el CATRE.....	43
6.2.1.	Capacitación al personal responsable del transporte de los RS	43
6.2.2.	Monitoreo de la generación de RS	43
6.3.	Estimación de la emisión de CO _{2e} generada por los RS	45
6.3.1.	Muestreo y análisis elemental de residuos orgánicos.....	45
6.3.2.	Estimación de gases generados por residuos orgánicos	46
6.3.3.	Estimación de la emisión por residuos inorgánicos	49
6.3.4.	Emisión total	49
6.4.	Establecimiento de FE	49
6.5.	Desarrollo de una aplicación web interactiva para estimar la emisión de CO _{2e} generada por RS.....	49
6.5.1.	Primera etapa. Análisis de requisitos de la aplicación	50
6.5.2.	Segunda etapa. Diseño y arquitectura	50



6.5.3.	Tercera etapa. Programación.....	50
6.5.4.	Cuarta etapa. Verificación.....	51
7.	RESULTADOS	53
7.1.	RS generados en la DACBiol y acopiados en el CATRE.....	53
7.1.1.	Capacitación al personal responsable del transporte de los RS	53
7.1.2.	Monitoreo de la generación de los RS	55
7.2.	Estimación de la emisión de CO _{2e} generada por los RS	59
7.2.1.	Composición elemental de los residuos orgánicos.....	59
7.2.2.	Estimación de gases generados por residuos orgánicos	60
7.2.3.	Emisión generada por los RS utilizando FE bibliográficos	62
7.3.	FE obtenidos para los residuos de características orgánicas generados en la DACBiol de la UJAT.....	63
7.3.1.	Emisión final, utilizando FE calculados.....	63
7.4.	Desarrollo de la aplicación web interactiva para estimar la emisión de CO _{2e} generada por los RS	64
7.4.1.	Importar datos	65
7.4.2.	Series de tiempo mensual de subproductos.....	67
7.4.3.	Distribución de subproductos.....	69
7.4.4.	Visualización de emisiones	69
7.4.5.	Información	72
8.	REFERENCIAS	74
	ANEXO 1	80
	ANEXO 2	93



CONTENIDO DE TABLAS

TABLA 1. GENERACIÓN DE RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS EN IES	26
TABLA 2. COMPOSICIÓN DE RSU SUSCEPTIBLES DE APROVECHAMIENTO	31
TABLA 3. CONTRIBUCIÓN DE EMISIONES DE GEI.....	34
TABLA 4. FACTORES DE EMISIÓN DE RESIDUOS (TURNER ET AL., 2015)	37
TABLA 5. DATOS SOBRE ANÁLISIS ELEMENTAL DE MATERIAL COMBUSTIBLE (TCHOBANOGLIOUS, 1994).....	46
TABLA 6. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS ELEMENTOS PRESENTES (TCHOBANOGLIOUS, 1994).....	47
TABLA 7. COMPOSICIÓN MOLAR DE LOS ELEMENTOS EN RESIDUOS (TCHOBANOGLIOUS, 1994)	47
TABLA 8. COMPOSICIÓN MOLAR DE LOS ELEMENTOS EN RESIDUOS DE COMIDA (TCHOBANOGLIOUS, 1994).....	47
TABLA 9. FUENTES DE GENERACIÓN DE RS EN LA DACBIOL	55
TABLA 10. SUBPRODUCTOS IDENTIFICADOS EN LA DACBIOL.....	55
TABLA 11. GENERACIÓN DE RESIDUOS, SEMESTRE 1	57
TABLA 12. GENERACIÓN DE RESIDUOS, SEMESTRE 2	58
TABLA 13. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS	60
TABLA 14. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS ELEMENTOS PRESENTES (TCHOBANOGLIOUS, 1994).....	60
TABLA 15. COMPOSICIÓN MOLAR DE LOS ELEMENTOS EN RESIDUOS (TCHOBANOGLIOUS, 1994)	61
TABLA 16. GASES GENERADOS POR RESIDUOS ORGÁNICOS EN PROCESOS DE DEGRADACIÓN.....	62
TABLA 17. EMISIÓN GENERADA POR RESIDUOS	62
TABLA 18. FE OBTENIDOS	63
TABLA 19. EMISIÓN FINAL UTILIZANDO FE CALCULADOS	64



CONTENIDO DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL CATRE	42
FIGURA 2. MANEJO DE RESIDUOS ACOPIADOS EN EL CATRE	44
FIGURA 3. PERSONAL INVOLUCRADO EN EL MANEJO DE RS	44
FIGURA 4. MÉTODO DE CUARTEO	45
FIGURA 5. DIÁLOGO Y FIRMA DE ACUERDO CON PERSONAL RESPONSABLE DE LAS CAFETERÍAS	53
FIGURA 6. FUENTES DE GENERACIÓN DE RS EN LA DACBIOL.....	54
FIGURA 7. CAPACITACIÓN AL PERSONAL DE INTENDENCIA DE LA DACBIOL.....	55
FIGURA 8. COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LOS RS EN LA DACBIOL	59
FIGURA 9. INTERFAZ DE LA APLICACIÓN WEB	65
FIGURA 10. CARACTERÍSTICAS DE LA BASE DE DATOS DE EXCEL® REQUERIDA	67
FIGURA 11. PANEL IMPORTAR DATOS DE LA APLICACIÓN WEB	67
FIGURA 12. PANEL SERIES DE TIEMPO MENSUAL DE SUBPRODUCTOS DE LA APLICACIÓN WEB	68
FIGURA 13. PANEL DISTRIBUCIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA APLICACIÓN WEB	69
FIGURA 14. PANEL VISUALIZACIÓN DE EMISIONES DE LA APLICACIÓN WEB.....	71
FIGURA 15. PANEL INFORMACIÓN DE LA APLICACIÓN WEB	72



ABREVIATURAS:

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
CATRE	Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
CO _{2e}	Dióxido de carbono equivalente
DACBiol	División Académica de Ciencias Biológicas
DPO	Descomposición de Primer Orden
FE	Factor de emisión
GEI	Gases de Efecto Invernadero
Gg	Giga gramo
Gt	Giga tonelada
H ₂ O	Agua
HC	Huella de Carbono
IES	Institución de Educación Superior
INEGYCEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
Kg	Kilogramo
LPGIR	Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de Residuos
Mt	Megatonelada



N ₂ O	Óxido nitroso
NH ₃	Amoniaco
O ₃	Ozono
ODM	Objetivos del Milenio
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PCA	Potencial de calentamiento atmosférico
RME	Residuos de Manejo Especial
RP	Residuo Peligroso
RPBI	Residuos Peligrosos Biológicos Infecciosos
RPI	Residuos Peligrosos Industriales
RS	Residuos Sólidos
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
t	Tonelada
UJAT	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
Mexico.

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

Las instituciones de educación superior (IES) son espacios compartidos donde se generan grandes cantidades de residuos que derivan en problemas ambientales, tales como emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El Banco Mundial reporta que, la generación mundial de residuos sólidos (RS) municipales es de 2.01 billones de $t a^{-1}$ y proyecta que aumente a 3.4 billones de t para el año 2050 (Banco Mundial, 2018). En México, se generan más de 43.8 millones $t a^{-1}$ de RS (SEMARNAT, 2020). La generación de RS contribuye con el 5 % de las emisiones de GEI (Bogner *et al.*, 2007), la cual suele ser representada en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), medida universal que, describe a partir de una mezcla y cantidad dada de GEI la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) que tendría la misma capacidad de calentamiento del planeta (PNUMA, 2015). El Banco Mundial, menciona que, debido a la generación, composición y manejo de RS, en 2016 se generaron 1600 millones de $t CO_{2e}$ (Banco Mundial, 2018), por su parte, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) reporta que, entre los años 2000 y 2010 se alcanzaron las emisiones de GEI más altas en la historia a nivel mundial, registrándose en el 2010 49 ± 4.5 Gt de CO_{2e} (IPCC, 2014). En México, según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) en el año 2015, la generación de emisiones de GEI fue de 683 millones de t de CO_{2e} , de las cuales el 64 % son emitidas por el uso de combustibles fósiles; 10 % por los sistemas de producción pecuaria; 8 % por procesos industriales; 7 % se le atribuyen al manejo de residuos; 6 % a las emisiones fugitivas por extracción de petróleo, gas y minería y el 5 % por actividad agrícola (INECC, 2018).

Una forma muy utilizada para cuantificar la emisión de CO_{2e} es el uso de Factores de Emisión (FE), y a nivel mundial se han desarrollado diversos trabajos donde se muestra su aplicación, tal es el caso de Tuner *et al.* (2015) quienes determinaron FE en Reino Unido, para estimar los impactos de análisis de ciclo de vida (ACV) por algunos residuos, considerando su valorización como medida de reducción de emisiones. Abeliotis *et al.* (2015), reportaron que, en 2009, la emisión calculada mediante FE derivada del desperdicio de alimentos en Grecia es de 5 672.5 Gg de CO_{2e} . Por su parte, Vilches *et al.* (2015), determinaron emisiones de GEI



transformadas a la unidad CO_{2e} para medir la huella de carbono (HC) en una Universidad en Ecuador, considerando como escenarios, el uso de combustibles, consumo eléctrico y como tercer escenario residuos y descargas, obteniendo para este último la generación de 647.99 t de CO_{2e}.

Actualmente, la comunidad científica continúa aportando información en cuanto a la generación y manejo de los RSU a nivel nacional, estatal y en algunos casos en espacios más específicos como las IES, tal como lo muestran Fagnani & Guimaraes (2017), en la Escuela de ingeniería de la Universidad Estatal de Campinas, Brasil, Adeniran *et al.* (2017) en la Universidad de Lagos en Nigeria y Del-Ángel (2017), en la Universidad Tecnológica General Mariano Escobedo, México. Sin embargo, aún se requiere más información que permita conocer la generación del RSU en IES del país y específicamente en el estado de Tabasco, así como herramientas tecnológicas que faciliten la estimación de emisiones de CO_{2e} generadas particularmente por los RS, tales como aplicaciones web y/o paquetes tecnológicos que incluyan conocimientos científicos, empíricos y comerciales, procesados y sistematizados.

El objetivo de este trabajo fue estimar la emisión de CO_{2e} derivada de los RS generados en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) y desarrollar una aplicación web interactiva que facilite su cálculo. Actualmente la DACBIOL es la única División de la UJAT que desde el año 2013 cuenta con un centro de acopio de residuos, así como personal para atender las actividades de separación y manejo de los mismos, por lo que, la aplicación diseñada será una herramienta de gran utilidad para la población de dicha División que se encuentre realizando investigación en el tema, además de ser una herramienta interactiva que promueva la conciencia en la población sobre los impactos que generan los RS, por lo cual esta podrá ser aplicable en otras IES de la región.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPÍTULO 2
JUSTIFICACIÓN



2. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo cuyo objetivo general fue estimar la emisión CO_2e generada por los RS acopiados en el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE) de la DACBiol, así como el desarrollo de una aplicación web con RStudio, posee cuatro aspectos basados en la ingeniería, tecnología y gestión ambiental, en los cuales se justifica:

- **Tecnología-Ingeniería:** Mediante el desarrollo de una aplicación web con la cual la población de la DACBiol pueda interactuar para realizar estimaciones de emisiones de GEI que complementen estudios de medición de la HC, misma que puede trascender y ser utilizada en otras instituciones donde se requiera implementar programas, ya que en la mayoría no se tiene información acerca de la cantidad de GEI derivados del manejo de los RS.
- **Gestión ambiental:** Promoviendo la valorización de subproductos en lugar de la disposición final como lo establece la LGPGIR, lo cual contribuye a minimizar los impactos negativos al ambiente y a la salud de la población. Asimismo, promover la disminución de residuos orgánicos procedentes del desperdicio de alimentos y con ello coadyuvar al cumplimiento de una de las metas de la agenda 2030, que en la actualidad es un reto a nivel mundial debido a que la generación de residuos orgánicos representa un porcentaje muy alto.
- **Gestión social:** Despertando mayor conciencia en la población sobre los beneficios de la valorización de los RS, ya que su inadecuado manejo y disposición son una problemática que aún no es regulada en la mayoría de las fuentes de generación. En este sentido, el producto de este proyecto impactará de manera positiva principalmente a la población estudiantil, investigadores y docentes, de la DACBiol ya que facilitará el cálculo de emisiones por residuos valorizables y no valorizables en esta y otras IES de la región y al personal de intendencia y responsables de servicios de alimentos de la DACBiol al tener conocimiento sobre el adecuado manejo de los RS.
- **Justificación económica:** A través del ahorro monetario para el usuario ya que la aplicación desarrollada para conocer la emisión generada por los RS es mediante un



software gratuito. Asimismo, el conocer la generación de gases por la disposición de los RS puede potencializar el interés para ser captados y aprovechados a futuro, siendo utilizados como fuente sustituyente de combustibles convencionales, trayendo consigo también beneficios económicos para la fuente de producción.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPÍTULO 3
ANTECEDENTES



3. ANTECEDENTES

3.1. Emisiones de GEI

Uno de los mayores retos a nivel mundial es el cambio climático, debido a que sus efectos son cada vez más alarmantes. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), las emisiones mundiales de CO₂ han aumentado 50 % respecto a lo reportado en 1990, por lo que, se requiere adoptar de manera urgente, medidas e instrumentos que conduzcan a reducirlas (PNUD, 2015), por ello se han creado vínculos principalmente entre el sector industrial, social y gobierno, difundiendo y promoviendo el cumplimiento de acuerdos internacionales, regionales y nacionales, con los que se busca hacer frente al cambio climático.

En 2015, se aprobó la agenda 2030, que cuenta con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), conocidos también como Objetivos Mundiales, que reemplazan los Objetivos del Milenio (ODM), con los que se hace un llamado a nivel mundial mediante 17 objetivos para alcanzar la sostenibilidad ambiental, económica y social (CEPAL, 2020; Gómez L. M., 2019), de entre los cuales, en el objetivo número 13 “acción por el clima”, se estipulan 5 metas para combatir y hacer frente al cambio climático y sus efectos. En ese mismo año, fue adoptado el acuerdo de París sobre el Cambio Climático, el cual tiene como fin la realización de acciones con base en la acción colectiva de los países involucrados para combatir el cambio climático y uno de los objetivos es lograr la neutralidad de las emisiones de GEI (Lavadeiras X. & Linares P.; INCyTU, 2018). Asimismo, desde 1997, en el protocolo de Kioto, como instrumento de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), se comprometió principalmente a países industrializados a adoptar medidas para reducir sus emisiones de GEI, fijando como meta el año 2020 (Lucas G. A., 2017).

3.1.1. Origen FE

Con la finalidad de establecer y lograr los objetivos de reducción de emisiones a la atmósfera señalados, la comunidad científica, sector industrial y gubernamental han implementado diversos métodos que permitan conocer su generación, uno de ellos es el uso de FE.



3.2. Emisiones de GEI generada por residuos

Hoy en día algunos países e instituciones cuentan con bases de datos o guías de factores de emisión que han sido determinados experimentalmente, los cuales están asociados a diferentes actividades. Particularmente, se ha recurrido al uso de FE para cuantificar emisiones de GEI generadas por RS, comúnmente generadas en rellenos sanitarios, en instituciones o de manera más específica en algunas ciudades, como es el caso de Turner *et al.* (2015) quienes determinaron FE de algunos residuos en Reino Unido mediante cálculos, demostrando que con el reciclaje de materiales se contribuye a la reducción de emisiones de CO_{2e}, dicho análisis fue realizado con base en 52 subproductos, los cuales fueron agrupados en las siguientes categorías: vidrio, papel, metal, plástico, madera, baterías, llantas, muebles, escombro, yeso, aceites, compuestos, pinturas, textiles y otros. Siendo el aluminio el material que representó mayor reducción con un total de -8 143 kg de CO_{2e} t⁻¹; seguido de los metales con un total de -3 577 kg de CO_{2e} t⁻¹ y los textiles con -3 376 kg de CO_{2e} t⁻¹.

Wang & Geng (2015) calcularon la emisión de GEI generadas por disposición de residuos en China, considerando métodos de procesamiento, relleno sanitario, vertedero simple, quema y compostaje. Los resultados obtenidos muestran que 1 kg de RS puede generar 1.16 kg CO_{2e} por su disposición en un relleno sanitario, la cantidad de 0.79 kg CO_{2e} en un vertedero simple, 0.51 kg CO_{2e} por su tratamiento en compostaje y 0.51 kg CO_{2e} por su combustión.

En Sudáfrica, Friedrich & Trois (2013) desarrollaron FE de GEI para el reciclaje y compostaje de residuos municipales, demostrando que, los procesos de reciclaje de algunos materiales reducen la emisión de GEI, los cuales van desde -290 kg CO_{2e} t⁻¹ (para el caso de vidrio) a -19 111 kg CO_{2e} t⁻¹ (para el caso de aluminio).

Astrup *et al.* (2009) estimaron la reducción de emisiones en los procesos de reciclaje de plásticos, incluido los diferentes procesos en la elaboración de nuevos productos, con una reducción de -700 a -1 500 kg CO_{2e} t⁻¹, producción de materiales sustitutos de madera (madera plástica), con una reducción de -70 a -500 kg CO_{2e} t⁻¹, y el uso de plástico para generar energía, que representa reducciones de -1 200 a -50 kg CO_{2e} t⁻¹.



3.2.1. Softwares como herramienta de cálculo

Por otra parte, se han desarrollado herramientas tecnológicas que permiten realizar cálculos de emisiones, con lo que también se busca impulsar acciones para reducirlas y alcanzar la neutralidad. Tal es el caso de la calculadora -mi huella de carbono- creada por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN) y el -software air-e- el cual es utilizado en empresas y organizaciones para el cálculo y análisis de su HC con el fin de identificar estrategias para la reducción de sus emisiones, entre otros.

3.3. Estudios de generación de residuos y emisiones en instituciones educativas

Debido a la problemática que representa la alta generación de residuos en las IES, en algunas de estas se han implementado planes de manejo que han permitido conocer la generación y composición de sus RS (**Tabla 1**), otras dentro de un grupo menor han optado por promover estrategias que permitan su aprovechamiento o valorización, mediante programas de manejo.

Tabla 1

Generación de residuos y subproductos en IES

IES	Generación (kg d ⁻¹)	Subproductos	Generación per cápita (kg d ⁻¹)	País	Fuente
Universidad Tecnológica General Mariano Escobedo	88.03	16	0.03	México	Del Ángel (2017)
Universidad Jaume I (UJI), Castellón de la Plana	836.63	13	0.045	España	Gallardo <i>et al.</i> (2016)
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH)	667.6	10	0.143	México	Vera <i>et al.</i> (2016)
Universidad Tecnológica de Salamanca	693.35	15	0.0392	España	Vargas <i>et al.</i> (2015)
Universidad Pontificia Bolivariana	408.19	9	0.052	Colombia	Castillo & Luzardo (2013)



seccional Bucaramanga						
Universidad Iberoamericana (IBERO) en la Ciudad de México	3375.3	21	0.33	México		Ruiz (2012)
Universidad Autónoma de Baja California (UABC)	1000	8	-	México		Armijo de Vega <i>et al.</i> (2006)
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV)	44.62	7	-	México		Maldonado (2006)

En cuanto a la realización de estudios referentes al impacto de los RS y la generación de emisiones, en otras instituciones como en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quinto campus sur, en Ecuador, Vilches *et al.* (2015), determinaron la HC en el año 2012, reportando un valor de 873.88 t de CO_{2e}, mediante un protocolo de GEI, estableciendo cálculos para tres alcances o actividades. Obteniendo que, la cantidad de GEI por el uso de combustibles genera 16.82 t CO_{2e}, por consumo eléctrico se genera la cantidad de 209.07 t CO_{2e} y por la parte que confiere a la adquisición, utilización y descomposición de RS orgánicos y descargas tiene un valor de 647.99 t CO_{2e}.

Güeraca *et al.* (2013), generaron en el instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, el inventario de emisiones de GEI del 2010 de acuerdo con el protocolo de gases de efecto invernadero y mediante la metodología de la evaluación del ciclo de vida, determinando que la HC total en ese año fue de 1 577 t CO_{2e}, donde el escenario correspondiente a transporte generó 789 t CO_{2e}, lo que representa 50 % del total, mientras que, el consumo de papel generó 18 t CO_{2e} (1.14 %) y los RS 30.7 t CO_{2e} (1.95 %).

Guerrero & Morales (2012) en su manual para neutralizar la HC en centros educativos, muestran que en el centro escolar Miguel Obregón en Costa Rica se genera un total de 10 659 kg de RS, basándose en que el factor de conversión a emisiones de CO₂ por RS en un relleno sanitario es de 0.0581 kg CH₄ kg⁻¹ y convirtiendo la emisión resultante a CO_{2e}, la



disposición de estos generaría 13.01 t CO_{2e}. Sin embargo, del total de RS, 3,659 kg son subproductos de características reciclables (plástico, papel, aluminio y multilaminados), de los cuales, la emisión calculada por medio de FE es de 4.6 t CO_{2e}, con su valorización se asume que, ésta es reducida, por lo tanto, se reporta una emisión final total de 8.41 t CO_{2e}.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPÍTULO 4
MARCO TEÓRICO



4. MARCO TEÓRICO

4.1. Residuo

En la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) se define el término residuo como “aquel material o producto cuyo poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en un recipiente o depósito, el cual puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final” (SEMARNAT, 2006).

4.1.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Los residuos sólidos urbanos (RSU), según la LGPGIR son aquellos generados en las casas habitación provenientes de materiales para actividades domésticas, de productos de consumo y envases, embalajes o empaques, también aquellos residuos que son generados en establecimientos o la vía pública, siempre y cuando tengan características domiciliarias; generados en un volumen menor a 10 t año⁻¹ (SEMARNAT, 2006).

De manera general, los RSU pueden ser clasificados en dos grupos:

4.1.1.1. Residuos orgánicos

Aquellos residuos de origen biológico, que por lo regular se degradan fácilmente transformándose en otro tipo de materia orgánica.

4.1.1.2. Residuos inorgánicos

Aquellos residuos que no son de origen biológico y que por sus características químicas su proceso de degradación es más lento.

Los RSU podrán subclasificarse en residuos orgánicos e inorgánicos con el fin de facilitar su separación primaria y secundaria (LGPGIR, 2006).

Separación primaria:

Es la acción de segregar o separar los residuos en orgánicos e inorgánicos.

Separación secundaria:

Es la acción de segregar o separar entre sí los residuos inorgánicos susceptibles de ser valorizados.



El diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, emitido por la SEMARNAT en el 2012, menciona que del total de RSU generados en México, solo el 39.57 % son susceptibles de aprovechamiento (Tabla 2), dentro de estos, los subproductos de mayor generación fueron cartón y papel (6.54 % y 6.20 %, respectivamente), mientras que los de menor generación fueron los clasificados como materiales no ferrosos (0.60 %).

Tabla 2

Composición de RSU susceptibles de aprovechamiento

Subproducto	Porcentaje
Cartón	6.54
Papel	6.20
Material ferroso	2.09
Material no ferroso	0.60
Plástico rígido y de película	7.22
Envase de cartón encerado	1.50
Fibras sintéticas	0.90
Poliestireno expandido	1.65
Hule	1.21
Lata	2.28
Vidrio de color	2.55
Vidrio transparente	4.03
Poliuretano	2.80
Total	39.57

Nota. Porcentaje de RSU susceptibles de aprovechamiento en México. Adaptado de Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, SEMARNAT, 2012.

4.1.2. Residuos de Manejo Especial (RME)

La LGPGIR define a los Residuos de Manejo Especial (RME) como aquellos que se generan en los procesos productivos, pero que estos no cuentan con alguna de las características que le confieran peligrosidad para ser tratados como un residuo peligroso (RP), ni como un RSU, o aquellos que son producidos por grandes generadores de RSU.

4.1.3. Residuos Peligrosos (RP)

La legislación mexicana (LGPGIR) menciona que, un Residuo Peligroso (RP) es aquel residuo, envase, recipiente, embalaje o suelos que hayan sido contaminados cuando se realiza su transferencia de un sitio a otro, que posean alguna característica de corrosividad,



reactividad, explosividad toxicidad inflamabilidad, o en su caso, que contenga agentes infecciosos que les confieran peligrosidad.

4.2. Degradación biológica de RSU

Los procesos de degradación biológica permiten reducir el volumen y el peso de los RS, además de obtenerse nuevos productos, estos pueden realizarse aerobia (en presencia de oxígeno) o anaerobiamente (en ausencia de oxígeno), dependiendo de la disponibilidad de oxígeno. Lo que hace diferentes ambos procesos es la naturaleza de sus productos finales (Grimaldo, 2013).

4.2.1. Degradación aerobia

En esta vía metabólica, el aceptor principal de electrones es el oxígeno y es generado CO_2 como resultado de la oxidación de la materia orgánica. Este proceso de degradación en un sitio de disposición final es similar al de composteo, solo varían los tiempos (Robles, 2008), finalmente en este proceso se obtienen como subproductos principales nuevas células, materia orgánica resistente (compost), CO_2 , agua, amoníaco y sulfato (Grimaldo, 2013). Este proceso se lleva a cabo en el hogar, en grandes plantas de composta y en rellenos sanitarios.

4.2.2. Degradación anaerobia

Bajo estas condiciones de degradación, la masa de RS se encuentra en condiciones de anoxia y, posteriormente, en condiciones de anaerobiosis, favoreciendo así el desarrollo de la actividad metanogénica. Los principales productos de la degradación anaerobia son: CH_4 , CO_2 , H_2O y NH_3 (Robles, 2008). Este proceso de digestión se lleva a cabo en contenedores sellados que permiten la recuperación y uso de biogás generado.

4.3. Efecto Invernadero

El efecto invernadero se refiere a un mecanismo por medio del cual la atmósfera de la Tierra se calienta (Caballero *et al.*, 2007), esto debido a que algunos gases afectan el flujo natural de energía, pues al pasar la luz solar, ésta llega a la Tierra y se transforma en radiación infrarroja, parte de la cual es devuelta a la atmósfera donde es reemitida por los GEI, ocasionando con ello un aumento de temperatura.



El efecto invernadero es actualmente uno de los mayores problemas que aquejan nuestro planeta pues el proceso se ha potencializado debido a la liberación de GEI de origen antropogénico (Espíndola & Valderrama, 2011).

4.4. Gases de Efecto Invernadero (GEI)

La atmósfera de la tierra es una mezcla de gases en la que dominan principalmente nitrógeno (78.1%), oxígeno (20.9%), pequeñas cantidades de argón (0.93%) y un pequeño porcentaje restante constituido por los llamados GEI (SEMARNAT, 2009). Los cuales son: principalmente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozono (O_3) y vapor de agua (H_2O).

4.4.1. Dióxido de Carbono (CO_2)

El CO_2 se encuentra de manera natural en la atmósfera como parte del ciclo de carbono, sin embargo, a nivel mundial se han incrementado notoriamente las emisiones de CO_2 debido a causas antropógenas tal como cambio de uso de suelo y la quema de combustibles fósiles convencionales en actividades como transporte, generación de electricidad y algunos procesos industriales, por lo cual hoy en día se ha convertido en el principal GEI (Centro Mario Molina, 2014).

4.4.2. Metano (CH_4)

El CH_4 , segundo GEI, es un gas también producto de la combustión de combustible fósil, generado principalmente en pozos petroleros, minas, cultivos y por digestión alimenticia de los animales (Colque & Sánchez, 2007).

4.4.3. Óxido Nitroso (N_2O)

El N_2O es un gas inerte con características anestésicas y está presente en la atmósfera en cantidad significativa. Es emitido por fuentes naturales, por la lixiviación, la volatilización y la escorrentía de fertilizantes nitrogenados, así mismo, por otros procesos como la descomposición de residuos de cultivos y de animales. (González & Camacho, 2017).



4.4.4. Ozono (O₃)

El O₃ está presente en las más altas concentraciones, y los efectos perjudiciales del neblumo fotoquímico se relacionan por lo general con la concentración de éste. Puede ocasionar daños al ambiente y a la salud humana (Wark & Warner, 2012).

4.4.5. Vapor de Agua (H₂O)

El vapor de agua se encuentra en gran proporción en la atmosfera, las nubes juegan un papel importante puesto que atrapan y reemiten energía infrarroja hacia la superficie de la tierra. Los cambios del vapor de agua son los denominados mecanismos de retroalimentación, los cuales son producidos por los cambios que se dan en el CO₂ (OMM, 2015).

4.5. Emisiones de CO₂ equivalentes (CO_{2e})

El CO_{2e} es una medida para indicar la posibilidad de calentamiento de los GEI, este término es utilizado mundialmente para evaluar los impactos de la emisión de GEI, expresados con valores negativos (para indicar reducción) o positivos (para indicar su contribución). De acuerdo con el INEGYCEI, las actividades que conllevan al incremento de emisiones de CO_{2e} en México se muestran a continuación en la tabla 3:

Tabla 3

Contribución de emisiones de GEI

Categoría:	% representativo:
Consumo de combustibles fósiles	64
Producción pecuaria	10
Procesos industriales	8
Manejo de residuos	7
Extracción de petróleo, gas y minería	6
Actividad agrícola	5

Nota. Adaptado de INEGYCEI, 2018, de INECC, 2018.

4.3.1. Consumo de combustibles fósiles

Derivado del consumo o quema de los combustibles fósiles, en el 2015, a nivel mundial se emitieron 32 294 MtCO_{2e}, de las cuales, los principales países emisores fueron China, Estados Unidos de Norteamérica y la Unión Europea. En ese año, México contribuyó con la



generación de 446.3 millones de t (1.38 % de las emisiones mundiales) por esta actividad (INECC, 2018).

4.3.2. Producción pecuaria

En esta categoría se encuentran las emisiones derivadas de la fermentación entérica y el manejo de excretas. En el 2015, la ganadería en México emitió 70 567.6 Gg de CO_{2e} (INECC, 2018).

4.3.3. Procesos industriales

Los principales GEI generados en diversas actividades industriales son CO₂, CH₄ y N₂O, los cuales son liberados en la transformación de materias primas en la producción mediante métodos químicos y físicos. Durante el 2015, este sector contribuyó con el 7.7 % de las emisiones nacionales. Este sector ha experimentado un aumento de 65.9 % con respecto a las emisiones en 1990 (INECC, 2018).

4.3.4. Manejo de residuos

De acuerdo con el INECC (2018), en este sector se consideran emisiones del tratamiento y eliminación de residuos, específicamente derivadas de la disposición final de RSU, tratamiento biológico de RS, incineración de residuos peligrosos industriales (RPI) y biológico-infecciosos (RPBI), quema de residuos a cielo abierto y el tratamiento y descargas de aguas residuales, como lo establece el IPCC en sus directrices del 2006. En el 2015 representaron el 6.6 % del total de las emisiones nacionales, sin embargo, este sector presenta un aumento alarmante del 265.8 % con respecto al año 1990, en el cual la emisión reportada fue de 12 550.11 Gg de CO_{2e}.

4.3.5. Extracción de petróleo, gas y minería

Las emisiones de CO_{2e} provenientes de la subcategoría petróleo y gas, incrementaron un 76.5 % con respecto al año 1990, en el cual se tuvo un registro de 20 752.53 Gg de CO_{2e}. A su vez, en conjunto con las emisiones derivadas de la minería, representan el 6 % del total de emisiones del 2015.



4.3.6. Actividad agrícola

Como producto de las actividades agrícolas, los GEI que se generan son CO_2 , CH_4 y N_2O . Se establece que en este sector sean consideradas las emisiones y absorciones de GEI asociadas con las actividades agropecuarias y forestales en tierras sujetas a intervención humana. De manera general, este sector en 2015 representó un balance de $-46\,286.57$ Gg de CO_{2e} , en comparación con los otros sectores, este se ha mantenido estable desde el año 1990 (INECC, 2018).

4.6. Cálculo de emisiones de GEI (CO_{2e})

De acuerdo con las directrices del IPCC, para los inventarios nacionales de GEI (1996) se establecen dos métodos para determinar emisiones de CH_4 procedentes de los vertederos de RS como consecuencia de la digestión anaerobia de los RS depositados, el método por defecto y el método de descomposición de primer orden (DPO), nivel 1 y 2, respectivamente. Para los cuales se establecen criterios de selección, siendo así el método DPO útil para obtener un perfil de emisión dado en función del tiempo transcurrido y que refleja mejor el proceso de degradación, por su parte, el método por defecto se fundamenta en suponer que la cantidad total de CH_4 es generada en el año en que los RS se depositan. Sin embargo, esto puede derivar en limitaciones de ambos métodos, obteniendo una tendencia por debajo de lo esperado. Respecto a ello, el IPCC también afirma que los datos requeridos en cualquiera de los dos métodos dependen de las condiciones de cada país, información que resulta insuficiente o nula en algunos casos, por lo que exhorta a generar datos de investigaciones nacionales o regionales, siempre y cuando, los organismos justifiquen la elección de un método distinto de los establecidos por las directrices del IPCC.

4.7. Factores de emisión

Son rangos de valores numéricos, que representan una reducción o emisión de GEI en forma genérica de CO_{2e} . Regularmente se expresan en relación con cantidades másicas, de tiempo, volumen e inclusive distancia, de materiales de interés, por ejemplo, $\text{kg de CO}_{2e} \text{ t}^{-1}$ o $\text{t de CO}_{2e} \text{ m}^{-3}$. Para representar valores de emisión en la categoría de residuos, comúnmente son



manejados como kg, Gg o t de CO_{2e} t⁻¹ de residuo. En la Tabla 3, se muestran diversos FE reportados para grupos de materiales residuales, los cuales, fueron considerados en esta investigación.

Tabla 4

Factores de emisión de residuos inorgánicos

Grupos de materiales	Tipo de material	Factor de emisión (kg CO _{2e} t ⁻¹)		Factores de emisión de la literatura		
		Bruto	Neto	No. de estudios*	Rango	$\bar{x} \pm \sigma$
VIDRIO	Vidrio	395	-314	6	-762 a -201	-417 ± 176
PAPEL	Papel	1576	-459	7	-3891 a 390	-1195 ± 1303
	Libros	562	-117	3	-3428 a -811	-1709 ± 1489
METAL	Latas de aluminio	1113	-8143	7	-19340 a -5040	-11334 ± 3512
	Otras chatarras de metal	883	-3577	3	-4828 a -2573	-3789 ± 1138
	Mezcla de Plásticos	339	-1024	6	-2324 a -1470	-788 ± 1007
PLÁSTICO	PET	155	-2192	6	-2324 a -566	-1570 ± 600
	HDPE	379	-1149	5	-2324 a -253	-1055 ± 792
	PVC	379	-1549	3	-2324 a -566	-1259 ± 936
	PP	379	-1184	3	-2324 a -566	-1279 ± 925
MADERA	Madera	502	-444	5	-2712 a 1	-619 ± 882
	Cartones de alimentos y bebidas compuestas	629	-452	1	-	-1730
TEXTILES	Solo textiles	401	-3376	5	-7869 a -930	-3606 ± 2709

Nota. Factores de emisión correspondientes a RS. *No. de estudios hace alusión al número de estudios de referencia analizados por los autores. Adaptado de Turner *et al.* 2015.



4.8. Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El ACV es una metodología establecida y estandarizada internacionalmente (ISO, 2006) la cual estudia el potencial de los impactos ambientales derivados de un producto durante su ciclo de vida. Para ello se considera desde el origen de la materia prima utilizada, el proceso de elaboración, el uso del producto y disposición final, en otras palabras, “desde la cuna a la tumba”. El ACV se ha convertido en una herramienta fundamental en la toma de decisiones relacionadas con productos o servicio, permitiendo conocer las posibles consecuencias ambientales de su uso (Romero, 2003), es por ello por lo que resulta ser un importante apoyo en la toma de decisiones ambientalmente responsables.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPÍTULO 5
OBJETIVOS



5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar la emisión de CO_{2e} en una IES generada por los residuos sólidos, mediante una aplicación web interactiva desarrollada con el lenguaje de programación R.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 5.2.1. Conocer los RS generados en la DACBiol y acopiados en el CATRE durante dos periodos escolares.
- 5.2.2. Estimar la emisión de CO_{2e} generada por los RS.
- 5.2.3. Deducir FE para los residuos de características orgánicas generados en la DACBiol de la UJAT.
- 5.2.4. Desarrollar una aplicación web interactiva para estimar la emisión de CO_{2e} generada por los diferentes RS segregados en el CATRE.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPÍTULO 6

MÉTODO



6. MÉTODO

6.1. Ubicación del sitio

La DACBIol es la única división de la UJAT que cuenta con un Centro de acopio de residuos, en cual desde el 2009, se realizan diversas actividades de manejo de residuos. El CATRE está situado a un costado de la cancha de futbol y el edificio de docencia, en las coordenadas geográficas $17^{\circ}59'52''$ y $17^{\circ}59'17''$ latitud norte y, $92^{\circ}58'23''$ y $92^{\circ}58'37''$ latitud oeste (Figura 1).

Figura 1

Ubicación del CATRE



Nota. El CATRE situado dentro de la DACBIol. Adaptada de Google maps.

Tiene cuatro áreas, un área de recepción, donde son recibidos los RS generados en las diferentes áreas de la DACBIol; un área de separación, donde se lleva a cabo la segregación de los residuos; un área de acopio, donde son clasificados los residuos valorizables; y un área de transferencia de RS, donde son colocados los residuos rechazados (no valorizables) para ser enviados a disposición final.



6.2. RS generados en la DACBiol y acopiados en el CATRE

6.2.1. Capacitación al personal responsable del transporte de los RS

Con la finalidad de tener un mejor control en el transporte de los RS que serán ingresados al CATRE, se dialogó con las personas responsables de dicha actividad. Para el caso de las cafeterías, en mutuo acuerdo con la Sociedad de alumnos de la DACBiol se propuso que sea obligatorio la separación de sus residuos en la fuente de generación, para ello, fue necesario capacitar a su personal para realizar dicha actividad como lo establece la Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) en su artículo 18, lo cual facilitó la separación de los RSU en la separación primaria y secundaria, en el caso del personal de intendencia, fue necesario una plática con ellos a fin de concientizarlos sobre el correcto manejo y transporte de los residuos.

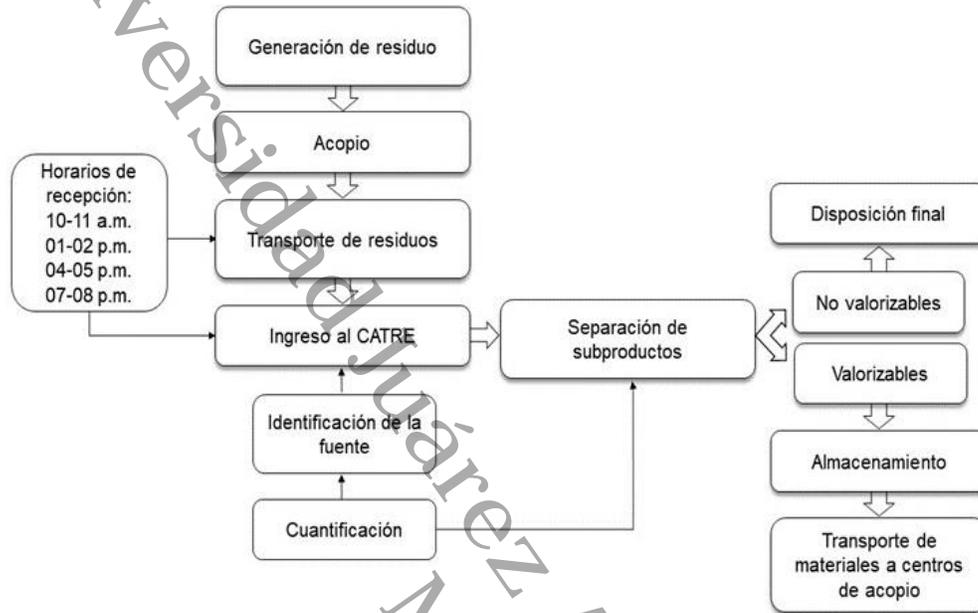
6.2.2. Monitoreo de la generación de RS

La generación de RS para este proyecto se monitoreó durante dos semestres escolares, iniciando en abril del 2019 y finalizando en marzo del 2020, considerando únicamente los días laborables (lunes a viernes), puesto que son los días en los que el personal de intendencia labora habitualmente, y son ellos quienes realizan la recolección en las fuentes y el transporte de los RS al CATRE. Los RS que llegan al CATRE fueron identificados, cuantificados, segregados, valorizados, almacenados y dispuesto finalmente (Figura 2). Los datos obtenidos se registraron originalmente en una base de datos en Excel®.



Figura 2

Manejo de residuos acopiados en el CATRE de la DACBiol



Nota. Elaboración propia.

Una vez identificados y cuantificado el peso inicial de los RS, el personal del CATRE (Figura 3) realizó la actividad de segregación.

Figura 3

Personal involucrado en el manejo de RS acopiados en el CATRE



Nota. Elaboración propia



Donde los RS fueron separados en subproductos generales, y subsiguientemente se llevó a cabo una segunda etapa de segregación, con la que se buscó la recuperación de materiales valorizables, es decir, que tengan características susceptibles de ser aprovechados; se identificaron aquellos no valorizables, los cuales se cuantificaron y se dispusieron finalmente en el lugar correspondiente dentro del CATRE.

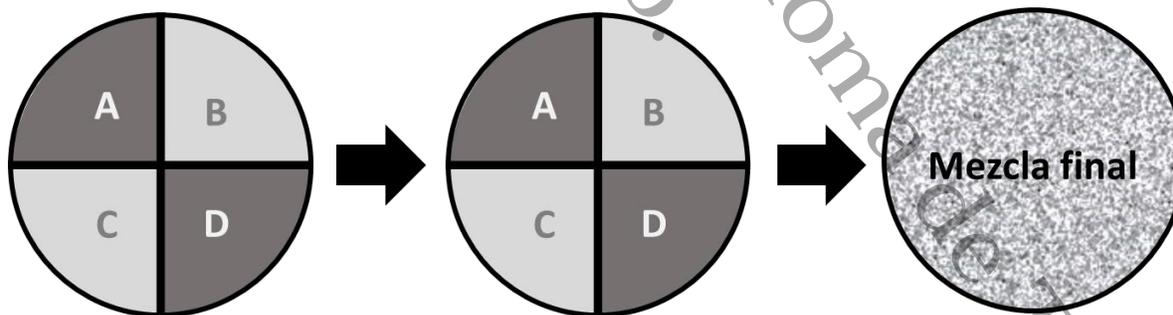
6.3. Estimación de la emisión de CO_{2e} generada por los RS

6.3.1. Muestreo y análisis elemental de residuos orgánicos

Las muestras de los residuos orgánicos acopiados en el CATRE se tomaron con base en el método de cuarteo para cada tipo de residuo, como lo indica la NMX-AA-15-1985, con lo que se obtuvieron muestras representativas de cada uno. Con este método, en una primera muestra, se seleccionaron dos áreas opuestas (A y B) y fueron mezcladas, descartando el resto; en una segunda etapa, se seleccionaron dos nuevas áreas opuestas (C y D), descartando el resto, y finalmente las áreas seleccionadas fueron mezcladas para obtener una muestra compuesta, representativa (Figura 4).

Figura 4

Método de cuarteo



Nota. Elaboración propia

Las muestras obtenidas, se ingresaron a uno de los laboratorios de la DACBiol, donde fueron pesadas y sometidas a proceso de secado en un horno, a fin de retirar la humedad en ellas, de acuerdo con la NMX-AA-16-1984, lo que permitió obtener su porcentaje de humedad.



Una vez secas, se pulverizó cada una de las muestras, a continuación, se hicieron muestras compuestas de cada residuo. Posteriormente cada una de éstas fue envasada y enviada a la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación y a la Industria (USAI) de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de México (UNAM) para su análisis elemental por triplicados, obteniendo así, datos reales del contenido de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S).

Las muestras secas también fueron sometidas a análisis de cenizas, para ello se tomó como referencia lo establecido en la NMX-AA-18-1984, lo cual es esencial para posteriormente determinar la generación de gases.

6.3.2. Estimación de gases generados por residuos orgánicos

Para el caso de los residuos orgánicos segregados, la emisión se obtuvo mediante cálculos de composición elemental en peso húmedo y seco de cada uno, y con base en ello se estimó la producción de gases a partir de la fracción orgánica, del periodo 2019 al 2020.

Para ello, se tomaron como ejemplo datos típicos sobre el análisis elemental de la fracción orgánica de los RS, planteado por Tchobanoglous (1994), donde, de acuerdo con el autor, los datos para los residuos de interés son:

Tabla 5

Datos sobre análisis elemental de material combustible (Tchobanoglous, 1994)

Tipos de residuo	Porcentaje en peso (base seca)					Cenizas
	Carbono (C)	Hidrógeno (H)	Oxígeno (O)	Nitrógeno (N)	Azufre (S)	
Residuos de comida (mezclados)	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0

Fue importante obtener como primer paso la composición elemental, ya que se requirió para determinar la composición química del material orgánico de interés, (una vez adquiridos estos datos con el análisis elemental, los valores fueron sustituidos en cada uno de los cálculos posteriores). En seguida, se realizó una distribución porcentual de los elementos sin y con agua, a partir de las cantidades objeto de estudio. A continuación, se ejemplifica a partir de 9 kg de residuos húmedos:



Tabla 6

Distribución porcentual de los elementos presentes (Tchobanoglous, 1994)

Tipos de residuo	Peso húmedo (kg)	Peso seco (kg)	Composición en kg (elemental)					
			C	H	O	N	S	Cenizas
Residuos de comida (mezclados)	9	2.7	1.3	0.17	1.02	0.07	0.01	0.14

Se consideró el % de humedad obtenido, y con base a este porcentaje se obtuvo su peso seco.

Posteriormente se calculó la composición molar de los elementos, despreciando las cenizas (este material no es degradable):

Tabla 7

Composición molar de los elementos en residuos (Tchobanoglous, 1994)

Tipos de residuo	Elementos	Peso atómico g/mol	Moles sin agua	Moles con agua
Residuos de comida (mezclados)	C	12.01	108.24	108.24
	H	1.01	168.31	693.07
	O	16.00	63.75	350
	N	14.01	4.99	4.99
	S	32.07	0.311	0.311

Finalmente se determinaron las fórmulas químicas aproximadas, con y sin azufre, y con y sin agua, a partir de las relaciones mol normalizadas, tomando como referencia una relación mol de nitrógeno y azufre de 1.

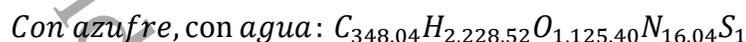
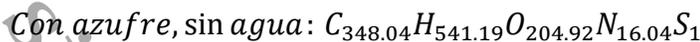
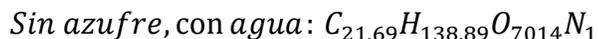
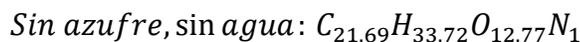
Tabla 8

Composición molar de los elementos en residuos de comida (Tchobanoglous, 1994)

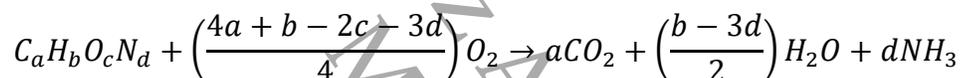
Tipos de residuo	Elemento	Relación mol nitrógeno = 1		Relación mol azufre = 1	
		Sin agua	Con agua	Sin agua	Con agua
Residuos de comida (mezclados)	C	21.69	21.69	348.04	348.04
	H	33.72	138.89	541.19	2,228.52
	O	12.77	70.14	204.92	1,125.40
	N	1.00	1.00	16.04	16.04
	S	0.062	0.062	1.00	1.00



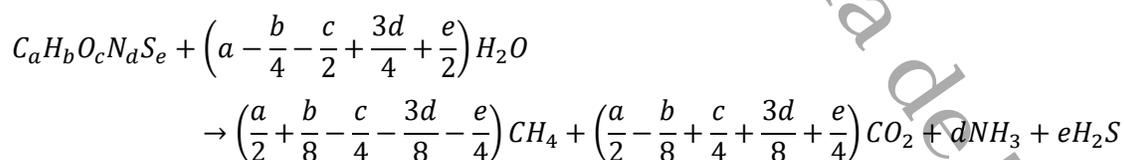
Las fórmulas químicas obtenidas se expresaron como se muestran a continuación (Tchobanoglous, 1994):



Con los términos $C_aH_bO_cN_d$ y $C_wH_xO_yN_z$ se representan la composición molar del material orgánico inicialmente presente y en la conclusión del proceso. Partiendo de la idea de que se produce completamente la conversión aerobia de los residuos, la ecuación utilizada fue la siguiente (Tchobanoglous, 1994; Espinosa et al., 2007):



Suponiendo que los residuos orgánicos están completamente estabilizados, la ecuación utilizada para la estimación de la cantidad de gas producida a partir de la fracción orgánica de los RS bajo condiciones anaerobias fue (Boyle, 1976; Tchobanoglous, 1994; Sánchez y et al., 2016):



Considerando que quizá la característica biológica más importante de la fracción orgánica de los RSU es que casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases (Tchobanoglous, 1994).

Para estandarizar los gases producidos bajo condiciones aerobias o anaerobias, según sea el caso, por los residuos de interés a unidades de CO_{2e} , se aplicó el método reportado por



Vilches *et al.*, (2015), el cual considera la cantidad del gas obtenido multiplicado por el potencial de calentamiento atmosférico (PCA) del mismo, mediante la siguiente ecuación:

$$tCO_{2e} = t \text{ del GEI} * PCA$$

Para ello, los valores de PCA fueron los reportados por el IPCC:

PCA CH₄= 28

PCA CO₂= 1

6.3.3. Estimación de la emisión por residuos inorgánicos

La emisión de CO_{2e} generada por los residuos inorgánicos fue calculada mediante el uso de FE, los cuales se tomaron de revisiones bibliográficas, considerando que, la uniformidad (composición) de los diferentes materiales inorgánicos de consumo cotidiano permite aplicar estos valores para el cálculo de emisiones. Estos factores se consideran en unidades de kg CO_{2e} t⁻¹ de materiales y la cantidad de RS en toneladas (t). Para ello se consideró la siguiente ecuación:

$$\text{Emisión } CO_{2e} = t \text{ de RS} * FE$$

6.3.4. Emisión total

Una vez calculada la estimación de la emisión generada por los residuos orgánicos e inorgánicos, la emisión total se obtuvo como el total de la sumatoria de ambas estimaciones.

6.4. Establecimiento de FE

Conociendo la emisión de CO_{2e} generada, los FE se obtuvieron relacionando directamente dicha emisión (kgCO_{2e}) con la cantidad generada del residuo (t). Es decir:

$$FE = \text{emisión } CO_{2e} / \text{Cantidad de RS}$$

6.5. Desarrollo de una aplicación web interactiva para estimar la emisión de CO_{2e} generada por RS

Al finalizar la etapa de monitoreo, cálculos de emisiones y cálculo de factores de emisión, se diseñó y desarrolló la aplicación web con shiny que es una paquetería de R que facilita la



creación de aplicaciones web interactivas y que dispone de una lista amplia de widgets que hacen a la aplicación más dinámica. Adicionalmente, se utilizaron los paquetes plotly y dygraphs para generar gráficas interactivas.

Para el desarrollo de dicha aplicación se consideraron cuatro etapas: análisis de requisito de la aplicación, diseño y arquitectura de la aplicación, programación de la aplicación y verificación del programa. Las cuales a continuación son descritas de manera general.

6.5.1. Primera etapa. Análisis de requisitos de la aplicación

En esta etapa se valoraron todos los datos requeridos para ejecutar las funciones de la aplicación, los cuales se catalogaron como datos de entrada y datos de salida, es decir, los datos que el usuario debe ingresar y los que son visualizados por el mismo. Ejemplos de datos de entrada fueron el tipo de residuos para el cual se desea calcular la emisión, la cantidad de residuos, los FE utilizados, el periodo de tiempo de generación, y como datos de salida, una gráfica que permite visualizar la generación de emisión de CO_{2e}, otra que muestra la comparación de la generación por subproductos y por fuentes de generación, así como gráficas de humedad y temperaturas de la zona para que el usuario pueda analizar más a fondo sobre los resultados obtenidos.

6.5.2. Segunda etapa. Diseño y arquitectura

En esta etapa se seleccionaron los *widgets* o *controladores* que el usuario visualiza desde la aplicación (en modalidad cliente) y que le permiten interactuar con esta. Para la selección adecuada de los controladores, se hizo un listado de variables de entrada a la aplicación y objetos de salida o resultados de esta. Por ejemplo, para indicar al usuario que cargue una base de datos se utilizó un controlador `fileInput`, para seleccionar el tipo de residuo o indicar el tipo de FE con el que se hará la estimación se utilizaron controladores `SelectInput` y para especificar el periodo de tiempo del cual se desea conocer la emisión se utilizó un `radioButtons`.

6.5.3. Tercera etapa. Programación

En esta etapa se programó la estructura de la vista principal de la aplicación como los paneles de visualización de resultados y muestra de información sobre la aplicación web. Los controladores de la aplicación se programaron usando las funciones definidas en Shiny y se



usó código adicional en lenguaje R para el cálculo de estimación dentro de la aplicación y que no están visibles para el usuario final.

6.5.4. Cuarta etapa. Verificación

Básicamente, consistió en corroborar el correcto funcionamiento de la aplicación, es decir, que los cálculos sean ejecutados de manera correcta para detectar posibles errores en la programación, ya que en caso de que las tareas sean ejecutadas en orden indebido la aplicación mostrará un mensaje de error y no permite visualizar gráficamente los resultados. En esta etapa también se compararon los resultados obtenidos con los calculados con ayuda de bases de datos en Excel®.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPÍTULO 7
RESULTADOS



7. RESULTADOS

7.1. RS generados en la DACBiol y acopiados en el CATRE.

7.1.1. Capacitación al personal responsable del transporte de los RS

En el caso de las cafeterías, se realizó una primera visita, en la cual se les capacitó sobre el adecuado manejo de los residuos, proporcionando contenedores para su manejo, cabe mencionar que, al término de dicha charla, se firmó un documento previamente aprobado por la Sociedad de alumnos de la DACBiol donde se establecen los requerimientos para el acopio y transporte de los residuos generados en las cafeterías de la división. Posterior a ello, se realizaron visitas constantes de supervisión y diálogo con los propietarios y personal para verificar el manejo adecuado de sus residuos. Con esta iniciativa se suman esfuerzos por el cumplimiento de la meta 3 del ODS número 13 que propone mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.

Figura 5

Diálogo y firma de acuerdo con personal responsable de las cafeterías



Para el caso del manejo del resto de los residuos generados en la división (**Figura 6**), que están a cargo del personal de intendencia, se convocó a una asamblea en la cual, se registró la asistencia de cada uno, en esta reunión se les capacitó sobre el adecuado manejo de los residuos antes de ser ingresados al CATRE (**Figura 7**).



Figura 6

Fuentes de generación de RS en la DACBIol



Nota. Adaptado de Informe de actividades de la DACBIol 2017, de archivosujat.mx.

Las fuentes de generación mostradas en esta figura corresponden a las áreas que se enlistan en la tabla siguiente:

Tabla 9

Fuentes de generación de RS en la DACBIol

Áreas generadoras de RS en la DACBIOL	
1. Domo Administrativo	14. Edificio Dr. Andrés Resendes Medina
2. Acuicultura	15. Edificio E
3. Biblioteca	16. Edificio F
4. Cafetería “El Rinconcito”	17. Edificio H
5. Cafetería “Mis Tres Amores”	18. Edificio Manuel Gurria Ordóñez
6. Cafetería “Sunset”	19. Edificio Multifuncional (Laboratorios)
7. Caseta de vigilancia	20. Herbario
8. CICART*	21. Mantenimiento (pasillos)
9. Edificio A	22. Papelería

10. Edificio B	23. Puesto “Cré-Pasó/Remolquito”
11. Edificio C	24. Puesto de aguas
12. Edificio D	25. UMA* de cocodrilos y tortugas
13. Edificio de Fauna	26. UVPyS*

Figura 7

Capacitación al personal de intendencia de la DACBiol



7.1.2. Monitoreo de la generación de los RS

En la tabla 10 se muestran los principales subproductos generados en la DACBiol, los cuales fueron identificados con base en los registros diarios en la bitácora:

Tabla 10

Subproductos identificados en la DACBiol

Subproductos identificados	
1. M.O. Vegetal	11. Vidrio
2. Restos de comida	12. Fierro
3. Tereftalato de polietileno (PET)	13. Palos de escoba
4. Papel de Oficina	14. Madera
5. Tapas de polipropileno (PP)	15. Papel higiénico
6. Hojalata	16. Poliestireno expandido (unicel)
7. Polietileno de alta densidad (HDPE)	17. Textil
8. Aluminio	18. cloruro de polivinilo (PVC)
9. Plástico Rígido (otros plásticos)	19. cartones de alimentos y bebidas (multilaminados)
10. Cartón	20. Lixiviado



En esta primera etapa de separación, se logró identificar un total de 20 subproductos, cantidad que supera a lo generado en la Universidad Tecnológica General Mariano Escobedo, México, y en la Escuela de ingeniería de la Universidad Estatal de Campinas, Brasil, donde se reportan 16 subproductos (Del-Ángel, 2017; Fagnani & Guimaraes., 2017) o en la Universidad de Lagos, Nigeria, donde se identificó un total de 12 (Adeniran *et al.*, 2017).

Sin embargo, los residuos resaltados con color gris en la tabla anterior son los subproductos para los que actualmente no se cuenta con mercado en el Estado de Tabasco, lo cual imposibilita su valorización y estos después de ser identificados son dispuestos.

La generación total de los residuos y de subproductos segregados durante el periodo abril-septiembre 2019, se muestra en la tabla 11.

En este primer semestre analizado, la cantidad de residuos acopiados en el CATRE fue de 10.919 t, de las cuales únicamente se valorizaron poco más de 2.146 t, esta cantidad de residuos corresponde a los valorizados en el sitio o debido a su demanda en el mercado estatal, ya que los residuos de las celdas resaltadas en color gris son descartados de esta actividad. Se aprecia que, el residuo de mayor generación fue la materia orgánica vegetal (0.728 t), seguido del PET (0.360 t) y cartón (0.327 t), mientras que el menos generado fue material ferroso y unisel (0.013 t).



Tabla 11

Generación de residuos, semestre 1

Residuo	Semestre 1						Total (t)
	Generación mensual (t):						
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	
Generación mensual	1.447	2.279	1.737	1.082	2.348	2.026	10.919
M.O. Vegetal	0.088	0.166	0.091	0.024	0.217	0.141	0.728
Restos de comida	0.022	0.028	0.000	0.000	0.002	0.003	0.055
PET	0.040	0.078	0.087	0.027	0.076	0.052	0.360
Papel de Oficina	0.088	0.001	0.013	0.020	0.029	0.034	0.185
Tapas de PP	0.003	0.006	0.006	0.003	0.009	0.006	0.033
Hojalata	0.009	0.023	0.013	0.005	0.017	0.015	0.081
HDPE	0.009	0.018	0.014	0.008	0.025	0.015	0.089
Aluminio	0.002	0.003	0.003	0.002	0.007	0.005	0.022
Plástico Rígido	0.021	0.004	0.015	0.005	0.025	0.020	0.089
Cartón	0.048	0.058	0.046	0.032	0.086	0.058	0.327
Vidrio	0.023	0.063	0.038	0.011	0.049	0.018	0.202
Fierro	0.005	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	0.013
Palos de escoba	0.002	0.001	0.000	0.000	0.005	0.008	0.017
Madera	0.001	0.073	0.008	0.000	0.006	0.005	0.094
Papel higiénico	0.006	0.007	0.012	0.021	0.052	0.074	0.173
Unicel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.008	0.013
Textil	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000	0.023
PVC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056	0.056
Tetrapack®	0.008	0.011	0.006	0.007	0.015	0.007	0.054
Lixiviado	0.026	0.077	0.042	0.014	0.056	0.045	0.260
Subproductos separados	0.400	0.621	0.395	0.179	0.704	0.574	2.875
Subproductos Recuperados	0.337	0.425	0.327	0.136	0.545	0.376	2.146
Recuperación (%)	23.308	18.630	18.804	12.608	23.213	18.552	25.523
Disposición final	1.803	1.650	2.142	1.646	0.504	0.840	7.056



Respecto al periodo octubre 2019-marzo 2020 los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 12

Generación de residuos, semestre 2

Residuo	Semestre 2						Total (t)
	Generación mensual (t):						
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	
Generación mensual	2.396	2.110	0.595	1.184	2.359	1.357	10.000
M.O. Vegetal	0.061	0.181	0.025	0.080	0.157	0.106	0.610
Restos de comida	0.000	0.013	0.000	0.003	0.008	0.008	0.032
PET	0.111	0.056	0.023	0.039	0.072	0.064	0.364
Papel de Oficina	0.011	0.095	0.011	0.085	0.072	0.016	0.291
Tapas de PP	0.004	0.007	0.001	0.003	0.009	0.005	0.029
Hojalata	0.005	0.006	0.002	0.005	0.014	0.008	0.040
HDPE	0.010	0.009	0.003	0.004	0.020	0.015	0.060
Aluminio	0.001	0.003	0.001	0.008	0.004	0.002	0.020
Plástico Rígido	0.008	0.019	0.007	0.055	0.010	0.008	0.107
Cartón	0.028	0.062	0.018	0.047	0.075	0.065	0.295
Vidrio	0.017	0.020	0.000	0.012	0.042	0.035	0.127
Fierro	0.000	0.003	0.000	0.004	0.005	0.000	0.012
Palos de escoba	0.000	0.001	0.000	0.001	0.002	0.001	0.005
Madera	0.006	0.002	0.011	0.003	0.002	0.000	0.024
Papel higiénico	0.079	0.060	0.049	0.061	0.145	0.087	0.480
Unicel	0.005	0.009	0.005	0.004	0.014	0.006	0.043
Textil	0.000	0.005	0.000	0.007	0.004	0.010	0.026
PVC	0.000	0.000	0.000	0.132	0.002	0.000	0.134
Tetrapack®	0.002	0.005	0.002	0.006	0.010	0.007	0.032
Lixiviado	0.033	0.035	0.010	0.018	0.075	0.053	0.224
Subproductos separados	0.381	0.591	0.168	0.578	0.742	0.497	2.956
Subproductos Recuperados	0.255	0.463	0.091	0.344	0.482	0.326	1.961
Recuperación (%)	10.622	21.958	15.277	29.063	20.426	24.049	21.395
Disposición final	2.142	1.646	0.504	0.840	1.877	1.030	8.039

En este periodo, únicamente se cuenta con un registro de 10 t de residuos generados, los datos comprendidos del periodo octubre 2019-marzo 2020. El subproducto de mayor generación

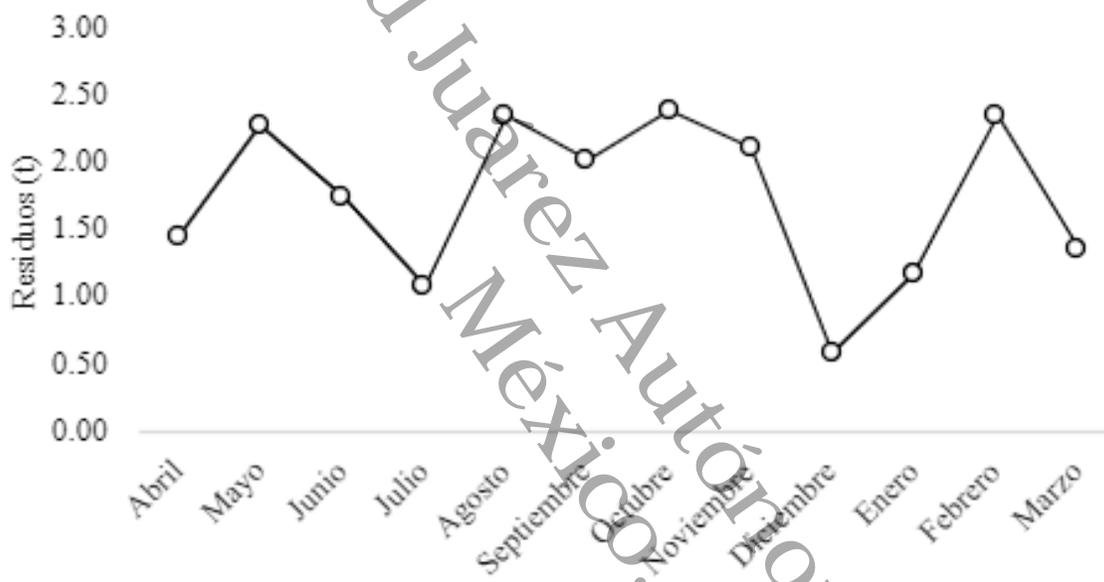


sigue siendo materia orgánica vegetal (0.610 t), mientras que el menos generado fue madera, en presentación de palos de escobas (0.005 t).

De manera general, el comportamiento mensual de los RS durante el año de monitoreo se puede apreciar a continuación:

Figura 8

Comportamiento mensual de los RS en la DACBiol



Se puede apreciar que la generación de residuos es mayor en los meses de inicio de semestre (agosto y febrero), al igual que en el mes de octubre, mientras que es visiblemente menor durante los meses de julio y diciembre, esto debido a que durante estos meses docentes y alumnos se encuentran en periodo vacacional y únicamente labora una pequeña parte del personal que incluye investigadores, intendentes y algunas áreas administrativas.

7.2. Estimación de la emisión de CO_{2e} generada por los RS

7.2.1. Composición elemental de los residuos orgánicos

Los datos obtenidos por medio de los análisis próximos y elemental de los residuos orgánicos (vegetales y restos de comida), se muestran en la siguiente tabla:



Tabla 13

Caracterización de residuos orgánicos

Residuo	Análisis próximos (%)				Análisis últimos (%)				
	Humedad	Material volátil	Carbono fijo	Cenizas	C	H	O	N	S
Vegetales	84.81	75.01	11.98	13.01	37.95	5.52	40.42	2.90	0.20
Alimentos	62.21	80.42	9.97	9.61	49.22	7.29	29.44	4.08	0.36

Comparando con los datos de composición típica que muestra Tchobanoglous (1995) para los residuos de mezclas de comidas (Tabla 3), se observa una pequeña diferencia en los porcentajes de C, H y S, mientras que en la composición porcentual de O y N, en los resultados obtenidos se aleja más, asimismo, el porcentaje de cenizas en este caso se eleva 4.61 %.

7.2.2. Estimación de gases generados por residuos orgánicos

Después de calcular la distribución porcentual de los elementos con y sin agua, se obtuvo el peso seco de cada residuo, considerando el porcentaje de humedad de cada uno. Las cantidades objeto de estudio de cada residuo varían de acuerdo con los datos de generación obtenidos durante el año de estudio.

Tabla 14

Distribución porcentual de los elementos presentes (Tchobanoglous, 1994)

Tipo de residuo	Peso húmedo (kg)	Peso seco (kg)	Composición en kg (elemental)					
			C	H	O	N	S	Cenizas
Vegetales	1337.96	203.24	77.13	11.22	82.15	5.89	0.41	26.44
Alimentos	87.34	33.01	16.24	2.41	9.72	1.35	0.12	3.17

A continuación, se obtuvo la composición molar de los elementos, sin y con agua:



Tabla 15

Composición molar de los elementos en residuos (Tchobanoglous, 1994)

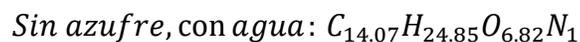
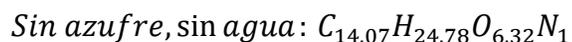
Tipo de residuo	Elementos	Peso atómico g/mol	Moles sin agua	Moles con agua
Vegetales	C	12.01	6421.99	6421.99
	H	1.01	11107.56	11233.64
	O	16.00	5134.25	6142.90
	N	14.01	420.69	420.69
	S	32.07	12.67	12.67
Alimentos	C	12.01	1352.58	1352.58
	H	1.01	2382.16	2388.20
	O	16.00	607.27	655.57
	N	14.01	96.11	96.11
	S	32.07	3.70	3.70

Las fórmulas químicas aproximadas, con y sin azufre, y con y sin agua, a partir de las relaciones mol normalizadas fueron las siguientes para cada tipo de residuo:

Residuos vegetales



Residuos de alimentos



Finalmente, la generación de gases estimada mediante las ecuaciones de Tchobanoglous, por conversión aerobia y anaerobia de los residuos se muestra en la siguiente tabla:



Tabla 16

Gases generados por residuos orgánicos en procesos de degradación

Tipo de residuo	Proceso	Gas	Generado	Volumen	%
Vegetales	Anaerobio	CH ₄	42.94	59.80	45.54
		CO ₂	141.47	71.52	54.46
	Aerobio	CO ₂	259.55	131.22	95.02
Alimentos	Anaerobio	CH ₄	12.15	16.92	57.33
		CO ₂	24.90	12.59	42.67
	Aerobio	CO ₂	58.30	29.47	93.42

7.2.3. Emisión generada por los RS utilizando FE bibliográficos

A continuación, se muestra la emisión total anual generada por los residuos segregados, se tienen valores positivos que indican la emisión debido a que el residuo fue dispuesto y los que se muestran en negativo son los residuos que se valorizaron. Por su parte, algunos residuos de la lista inicial fueron eliminados en esta tabla debido a que no se cuenta con su FE.

Tabla 17

Emisión generada por residuos

Subproducto	Generación (t)	FE (kgCO _{2e} /t)	Emisión (kgCO _{2e})
M.O. Vegetal	1.338	-160	-214.08
Restos de comida	0.087	3942	342.95
PET	0.724	-1570	-1136.68
Papel de Oficina	0.477	-1195	-570.016
Tapas de PP	0.062	-1279	-79.30
Hojalata	0.121	-3789	-458.47
HDPE	0.149	-1055	-157.20
Aluminio	0.042	-11334	-476.03
Plástico Rígido	0.196	-788	-154.45
Cartón	0.622	-1010	-628.22
Vidrio	0.329	-417	-137.19
Fierro	0.025	-3789	-94.73



Palos de escoba	0.022	-619	-13.62
Madera	0.118	619	73.04
Unicel	0.056	1055	59.08
Textil	0.049	3606	176.69
PVC	0.190	1259	239.21
Tetrapack®	0.086	1730	148.78
Total	4.69	-	-3080.24

La emisión positiva acumulada fue de 1039.75 kgCO_{2e}, mientras que la emisión evitada (negativa) fue de -4119.99 kgCO_{2e}, al realizar un balance general, se obtiene una emisión acumulada de -3080.24 kgCO_{2e}.

7.3. FE obtenidos para los residuos de características orgánicas generados en la DACBiol de la UJAT

Con base en el método propuesto, donde se parte de la cantidad de gases emitidos y la generación total, se obtuvieron los siguientes FE correspondientes a residuos vegetales y restos de comida, dependiendo del proceso de transformación que reciban:

Tabla 18

FE obtenidos mediante cálculos estequiométricos

Residuo	FE por proceso (kg CO _{2e} /t)	
	Aerobio	Anaerobio
Vegetales	194	1004
Comidas	667	4178

7.3.1. Emisión final, utilizando FE calculados

Utilizando los FE de emisión propios, la emisión final, considerando la degradación anaerobia de los residuos, se muestra en la siguiente tabla:



Tabla 19

Emisión final utilizando FE calculados

Subproducto	Generación (t)	FE (kgCO _{2e} /t)	Emisión (kgCO _{2e})
M.O. Vegetal	1.338	-1004	-1343.35
Restos de comida	0.087	4178	363.49
PET	0.724	-1570	-1136.68
Papel de Oficina	0.477	-1195	-570.02
Tapas de PP	0.062	-1279	-79.30
Hojalata	0.121	-3789	-458.47
HDPE	0.149	-1055	-157.20
Aluminio	0.042	-11334	-476.03
Plástico Rígido	0.196	-788	-154.45
Cartón	0.622	-1010	-628.22
Vidrio	0.329	-417	-137.19
Fierro	0.025	-3789	-94.73
Palos de escoba	0.022	-619	-13.62
Madera	0.118	619	73.04
Unicel	0.056	1055	59.08
Textil	0.049	3606	176.69
PVC	0.190	1259	239.21
Tetrapack®	0.086	1730	148.78
Total	4.69	-	-4188.97

Se consideró la degradación de los residuos orgánicos, bajo la suposición que comúnmente estos residuos se dispondrían en un sitio de disposición final.

7.4. Desarrollo de la aplicación web interactiva para estimar la emisión de CO_{2e} generada por los RS

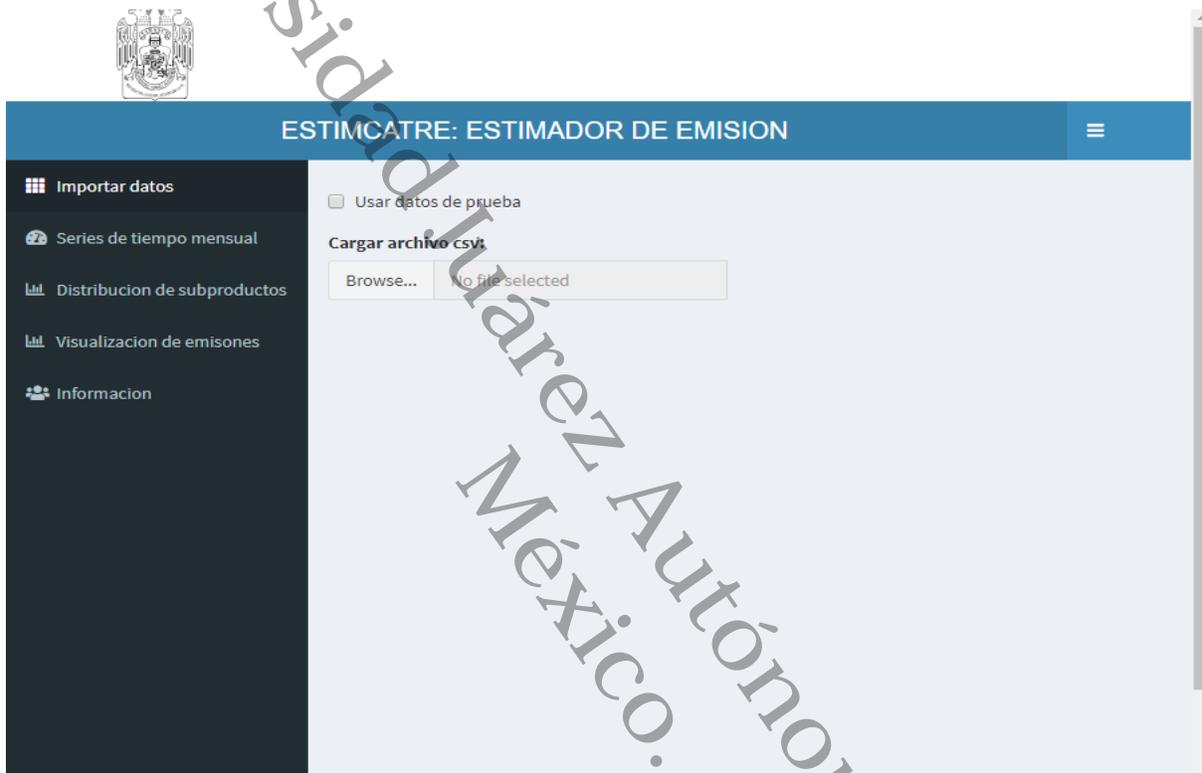
La aplicación web fue nombrada “ESTIMCATRE”, nombre atribuible al sitio donde se realizó el trabajo de campo de esta investigación. Esta aplicación posee una interfaz que



cuenta con un total de cinco paneles (Figura 9), mediante los cuales le permite al usuario obtener datos y gráficos específicos y realizar sus análisis fácilmente:

Figura 9

Interfaz de la aplicación web



A continuación, se describe cada una de las partes que comprenden la aplicación web:

7.4.1. Importar datos

En ese panel, el usuario tiene la opción de cargar sus datos, o bien utilizar datos de prueba, que son datos cargados automáticamente al momento de seleccionar esta opción, dichos datos son los obtenidos de la cuantificación anual en el CATRE. Al momento de cargar los datos, se obtienen de manera automática datos de los subproductos, tales como sumatoria total, la media, la mediana, valor mínimo, valor máximo y desviación estándar.

Para una adecuada ejecución de los datos debe considerarse lo siguiente:

- Los datos deben estar capturados en una base de datos en el programa Microsoft Excel®.



- El formato de la base de datos debe ser .csv.
- No colocar acentos en los nombres de los subproductos o datos (aunque las reglas ortográficas así lo indiquen).
- Se debe crear una columna de fechas, la cual contenga formato de “Fecha” e inicie con el día 01 de todos los meses de monitoreo, por ejemplo: para el mes de enero de 2018 el dato a ingresar será 01/01/2018, para el mes de febrero será 01/02/2018, para el mes de marzo 01/03/2018 y así sucesivamente hasta llegar al último mes de monitoreo.
- Los datos de generación de cada subproducto deberán ser colocados en columnas después de la columna de fechas de monitoreo.
- Al final de las columnas de los subproductos deberá colocar una columna más con los datos de la generación total de ese mes (este paso es opcional).

De manera que, la base de datos creada tenga el siguiente aspecto:

Figura 10

Características de la base de datos de Excel® requerida

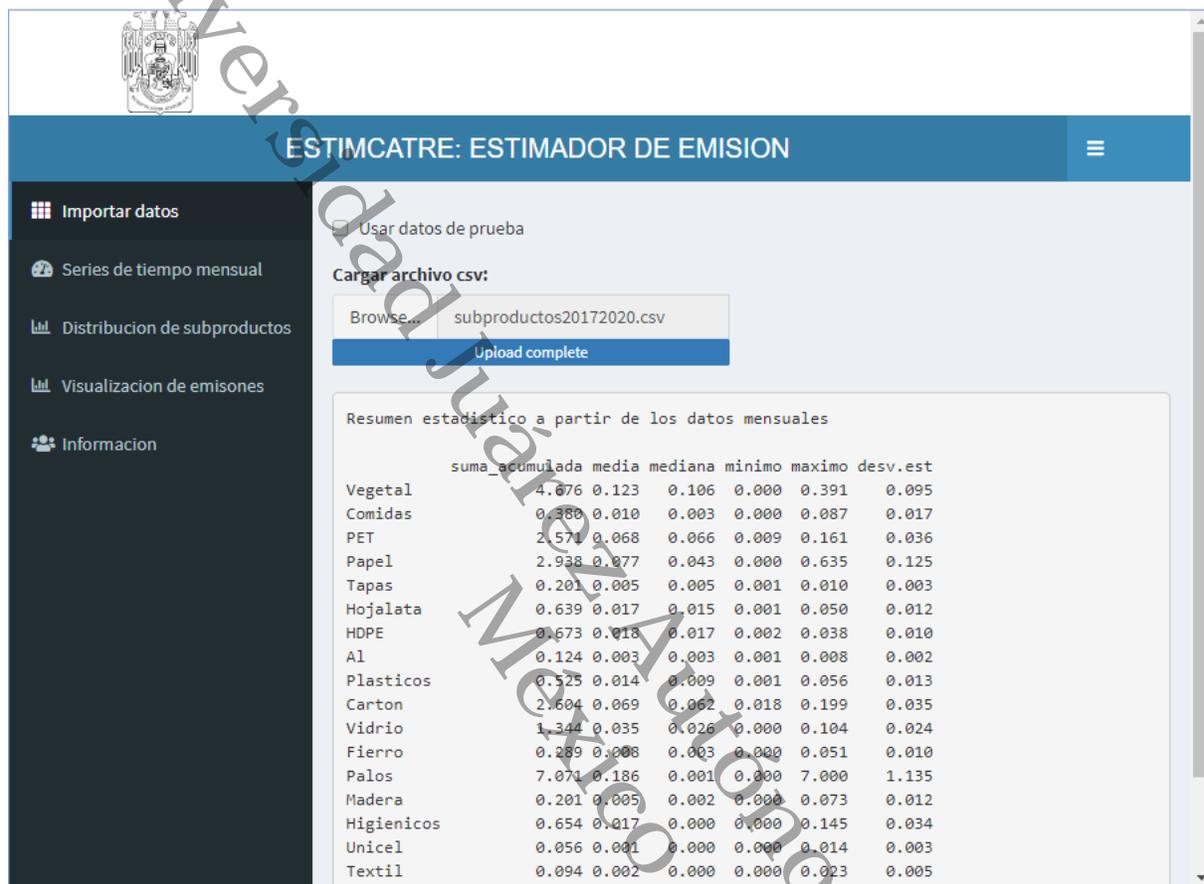
The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following columns: Fecha, Vegetal, Comidas, PET, Papel, Tapas, Hojalata, HDPE, Al, Plásticos, Carton, Vidrio, Hierro, Palos, Madera, Higrificos, Utiles, Textil, PVC, Tetrapack, Totalsub, Tot. The data rows show values for each subproduct across different dates from 01/02/2017 to 01/06/2019. A red box highlights the 'Fecha' column with the label 'Formato de fecha'. A red arrow points to the 'Total de RS generados' column.

Fecha	Vegetal	Comidas	PET	Papel	Tapas	Hojalata	HDPE	Al	Plásticos	Carton	Vidrio	Hierro	Palos	Madera	Higrificos	Utiles	Textil	PVC	Tetrapack	Totalsub	Tot
01/02/2017	0.3404	0.04672	0.12115	0	0.00801	0.03673	0.02933	0.00628	0.0268	0.1002	0.0596	0.0192	0.00162	0	0	0	0	0	0	0	0.79604
01/03/2017	0.39056	0.08712	0.15609	0.13091	0.01028	0.05046	0.03076	0.00453	0.02984	0.19864	0.08109	0.03173	0.00396	0	0	0	0	0	0	0	1.20597
01/04/2017	0.14878	0.02322	0.0498	0.09596	0.00311	0.0195	0.01284	0.0012	0.0015	0.06272	0.10442	0.00283	0.0025	0	0	0	0	0	0	0	0.52388
01/05/2017	0.29286	0.04456	0.08353	0.04064	0.00552	0.04438	0.01979	0.00158	0.00446	0.06319	0.03176	0.01408	0.00186	0	0	0	0	0	0	0	0.66821
01/06/2017	0.06403	0.01956	0.05739	0.05968	0.00361	0.02755	0.0139	0.00141	0.01348	0.06766	0.01968	0.00644	0.0135	0	0	0	0	0	0	0	0.36429
01/07/2017	0.01294	0.003	0.01679	0.02216	0.00127	0.01056	0.00491	0.00119	0.0321	0.05152	0.02014	0.00978	0.00766	0.00168	0	0	0.00096	0.00022	0.0035	0.0035	0.21398
01/08/2017	0.21033	0.00467	0.16121	0.18696	0.00191	0.03704	0.03789	0.00266	0.02667	0.12653	0.06939	0.01672	0.00186	0.00306	0	0	0.00096	0.00022	0.0035	0.0035	0.8076
01/09/2017	0.263	0.01832	0.13845	0.50491	0.00879	0.03011	0.03216	0.00484	0.05642	0.06846	0.10891	0.01931	0	0.0037	0	0	0.00096	0.00022	0.0035	0.0035	1.30768
01/10/2017	0.16889	0.01004	0.09784	0.06088	0.00748	0.0118	0.02876	0.0042	0.00883	0.07909	0.025	0.0012	0	0.0022	0	0	0.00016	0	0.01621	0.01621	0.5176
01/11/2017	0.10263	0.00476	0.05915	0.05659	0.00449	0.02171	0.01983	0.00184	0.00248	0.08119	0.0262	0	0.00434	0.00377	0	0	0.00004	0.00006	0.01889	0.01889	0.40233
01/12/2017	0.00046	0	0.02196	0.10178	0.00204	0.00316	0.00287	0.00148	0.00886	0.03769	0.03739	0.00308	0	0.00372	0	0	0.00004	0	0.00412	0.00412	0.23065
01/01/2018	0.00226	0.001	0.00942	0.13246	0.00065	0.00274	0.00186	0.00057	0.00136	0.05323	0.00618	0.00008	0.00278	0.00142	0	0	0	0	0	0	0.21937
01/02/2018	0.06408	0.00148	0.03677	0.06047	0.00458	0.00789	0.01651	0.00226	0.00396	0.04747	0.01408	0.00064	0	0.00022	0	0	0.00001	0	0.01097	0.01097	0.27211
01/03/2018	0.19569	0.01668	0.10556	0.05206	0.00815	0.01293	0.02439	0.00647	0.00257	0.05479	0.02517	0.02113	0.00508	0.0008	0	0	0.0042	0	0.00928	0.00928	0.54512
01/04/2018	0.11498	0.00238	0.05963	0.02132	0.00507	0.0147	0.03487	0.00548	0.00552	0.08203	0.02315	0.01868	0	0.00356	0	0	0	0	0.01022	0.01022	0.40159
01/05/2018	0.10588	0	0.07071	0.63504	0.00662	0.0186	0.02914	0.0028	0.00276	0.09012	0.06898	0.01258	0	0.00502	0	0	0.01338	0	0.00984	0.00984	1.07147
01/06/2018	0.08636	0.00366	0.05264	0.02474	0.00486	0.01094	0.01455	0.00252	0.01098	0.03657	0.0158	0.00032	0	0	0	0	0	0	0.0063	0.0063	0.27024
01/07/2018	0.04401	0	0.04037	0.01099	0.003	0.00836	0.01214	0.00142	0.00128	0.04309	0.01768	0.00216	0	0.01753	0	0	0.00022	0.0021	0.00675	0.00675	0.21011
01/08/2018	0.11644	0.00504	0.06763	0.0393	0.00629	0.02168	0.03453	0.00268	0.01886	0.07097	0.04937	0.0505	0	0.01718	0	0	0.00176	0.003	0.01025	0.01025	0.51551
01/09/2018	0.20604	0	0.07407	0.09466	0.00879	0.02161	0.02322	0.00242	0.01196	0.13459	0.02882	0.00226	0.00098	0	0	0	0.00282	0	0.0118	0.0118	0.51406
01/10/2018	0.11479	0	0.02001	0.03144	0.00772	0.02574	0.02292	0.00344	0.00146	0.09252	0.06228	0.0043	0	0.00122	0	0	0	0	0.01463	0.01463	0.46447
01/11/2018	0.02442	0	0.06961	0.02308	0.00977	0.01719	0.01803	0.00493	0.0028	0.08754	0.0258	0.00074	7	0	0	0	0	0	0.01706	0.01706	0.99811
01/12/2018	0.0047	0.00032	0.0337	0.04481	0.00196	0.00736	0.00358	0.00063	0.0018	0.03448	0.01798	0.00268	0	0.01152	0	0	0.00042	0	0.00662	0.00662	0.17456
01/01/2019	0.00188	0	0.01838	0.07008	0.00294	0.00143	0.00414	0.00083	0.0098	0.01825	0.02083	0.00316	0.0015	0.00256	0	0	0.01784	0	0.00312	0.00312	0.17674
01/02/2019	0.17793	0	0.06951	0.07008	0.00751	0.02368	0.0202	0.00447	0.02216	0.06305	0.033	0.01118	0	0.0031	0	0	0.00003	0.00016	0.02686	0.02686	0.54118
01/03/2019	0.0815	0	0.08571	0.00982	0.00433	0.01945	0.02329	0.00512	0.02208	0.05866	0.0677	0.00904	0.00144	0.00148	0	0	0.00586	0	0.0078	0.0078	0.43043
01/04/2019	0.08844	0.002	0.09981	0.08844	0.00319	0.00885	0.00868	0.00184	0.00272	0.04763	0.02262	0.00466	0.00232	0.00126	0.00632	0	0	0	0.01481	0.01481	0.37468
01/05/2019	0.16636	0.02764	0.07795	0.00104	0.00615	0.02262	0.01837	0.00316	0.00362	0.05799	0.06253	0.00374	0.00114	0.07314	0.00738	0	0	0	0.01117	0.01117	0.544
01/06/2019	0.09116	0	0.08692	0.01298	0.0059	0.01312	0.01426	0.00322	0.0149	0.04597	0.03823	0	0	0.00818	0.01182	0	0.00012	0.00008	0.00615	0.00615	0.35301



Figura 11

Panel Importar datos de la aplicación web



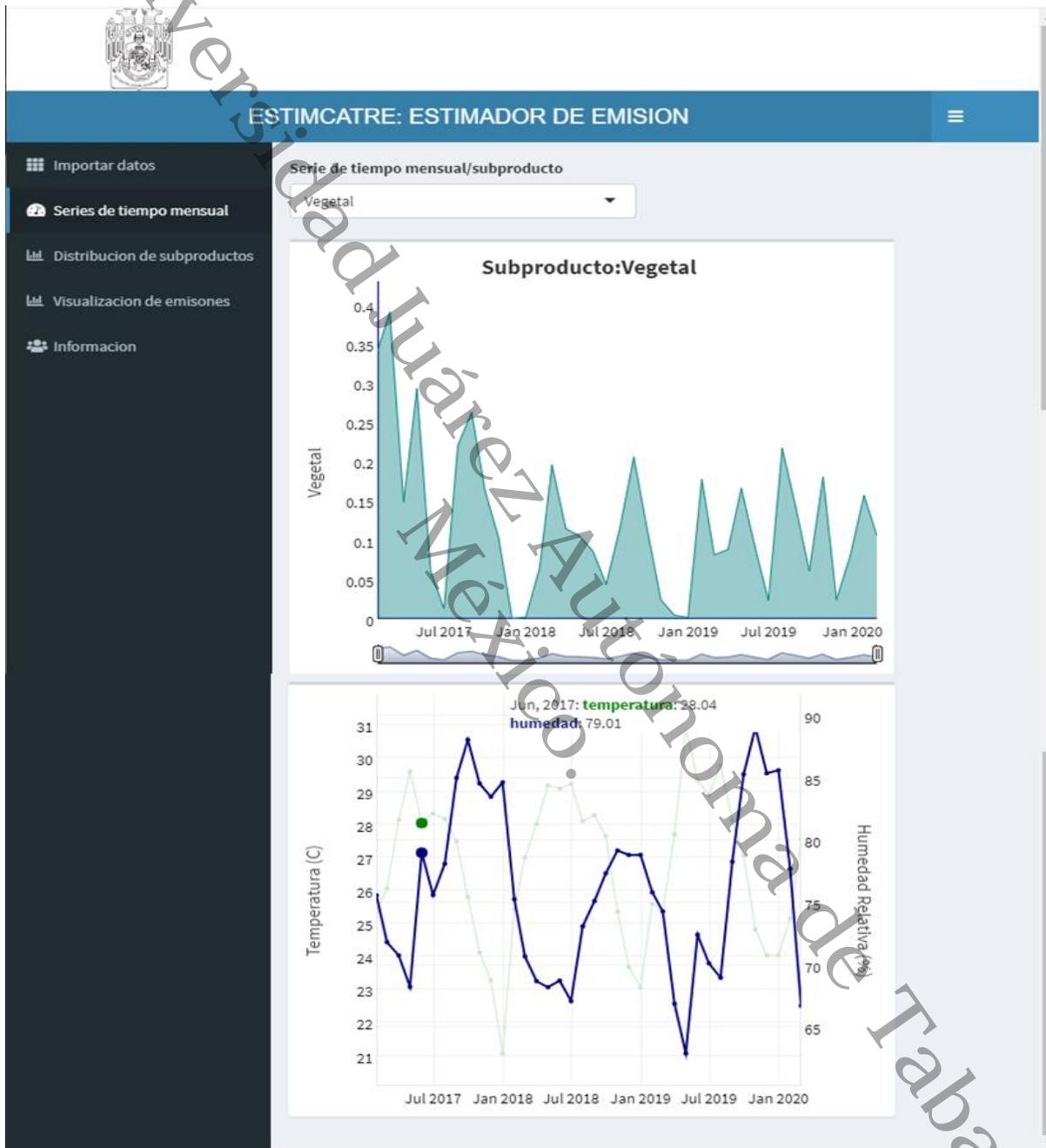
7.4.2. Series de tiempo mensual de subproductos

Este panel permite visualizar la tendencia de la generación de cada uno de los subproductos, en este caso, se trabajó con datos desde febrero 2017 hasta marzo 2020. Además, este panel cuenta con información de temperaturas y humedad correspondientes a la ciudad de Villahermosa, Tabasco, para cada uno de los meses mostrados, ya que estas variables son importantes considerarlas al momento de hacer conclusiones, por ejemplo, cómo influyen en el consumo y generación de residuos o en su caso, en los valores de emisión obtenidos.



Figura 12

Panel Series de tiempo mensual de subproductos de la aplicación web



Asimismo, en este panel se puede elegir mediante una casilla de selección (SelectInput) el subproducto del cual se requiere visualizar gráficamente su generación, o bien, si se desea visualizar la generación de todos a la vez. Esta se encuentra en la parte superior con la leyenda “Serie de tiempo mensual/subproducto”.



7.4.3. Distribución de subproductos

La distribución de subproductos permite visualizar la generación en conjunto de los subproductos, el usuario puede elegir si desea visualizar mensual o anualmente.

Figura 113

Panel Distribución de subproductos de la aplicación web



Al momento de visualizar el gráfico, se tienen opciones para manipularlo como, por ejemplo, guardar la imagen, hacer zoom, mover los valores del gráfico, seleccionar un espacio en el gráfico, acercar, alejar, visualizar valores de generación al deslizar el cursor o comparar los valores y la opción de abrir en nueva ventana.

7.4.4. Visualización de emisiones

En este panel se concentra la información más relevante de la aplicación web, al momento de ingresar en él se encuentra la opción de seleccionar los FE a considerar (para el caso de los residuos orgánicos), en primer lugar, se tienen los FE bibliográficos, mostrados anteriormente en la tabla 10, seguidamente se encuentran los FE calculados, es decir FE para



residuos de vegetales y de comidas, tanto para su proceso de degradación aerobio como anaerobio (tabla 17).

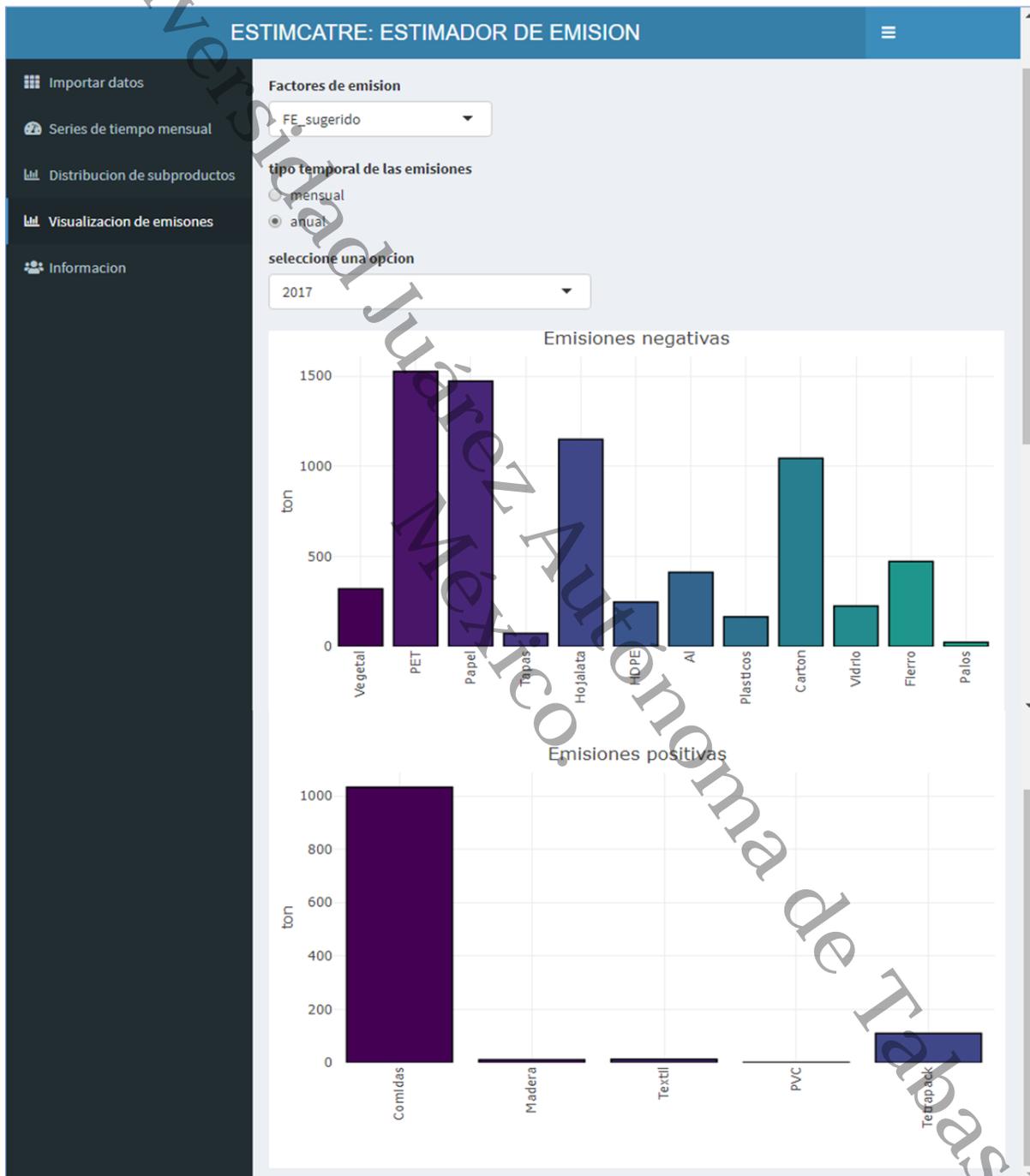
El primer punto para considerar en este panel es identificar si los residuos orgánicos son tratados mediante algún tipo de proceso aerobio o anaerobio en alguna institución de la región. De acuerdo con la consideración anterior, en el botón de selección, “FE_Bibliografico” permite obtener la emisión de los subproductos utilizando los FE reportados por otros autores, considerando el reciclaje como elección de tratamiento. “FE_Sugeridos.Aerobio” es la opción que considera el cálculo de emisión para los subproductos donde los residuos orgánicos (vegetales y alimentos) sean tratados mediante digestión aerobia, o simplemente se requiera conocer la emisión de estos en caso de recibir dicho tratamiento. Por su parte, la opción “FE_Sugeridos.Anaerobio”, contiene los FE que permiten obtener la emisión de los residuos orgánicos (vegetales y alimentos) que reciban un tratamiento anaerobio. Para el caso del resto de los residuos (inorgánicos) únicamente se consideraron los FE bibliográficos y en cualquiera de las tres opciones estos son los que utiliza la aplicación.

El usuario al seleccionar una de las tres opciones ya mencionadas y seleccionar el periodo del cual desea conocer la emisión, podrá visualizar dos gráficas, en la parte superior la gráfica que muestra la emisión negativa de los residuos, es decir, la emisión que es evitada por residuos valorizados. En la parte inferior, se muestra la segunda gráfica que muestra la emisión positiva por los residuos que no se están valorizando de ninguna forma.



Figura 124

Panel Visualización de emisiones de la aplicación web





7.4.5. Información

La información mostrada en este panel es referente a las indicaciones para cargar los datos (requisitos de la base de datos), además de información general de la aplicación. Dentro de información complementaria se ha creado un link de un ejemplo de otra aplicación web y se pretende crear enlaces a páginas con contenido de interés y artículos de investigación referente al tema de investigación de este trabajo.

Figura 15

Panel Información de la aplicación web

ESTIMCATRE: ESTIMADOR DE EMISION

Importar datos

Series de tiempo mensual

Distribucion de subproductos

Visualizacion de emisiones

Informacion

ESTIMCATRE es una aplicación web que realiza estimaciones de emisiones de GEI (CO₂e) generadas por algunos residuos solidos. Esta herramienta es de gran utilidad en instituciones, principalmente educativas, donde se implementen acciones de monitoreo de residuos generados diariamente y manejo de los mismos.

Los datos deben estar en un archivo con extension *.csv. Deben ser horarios e incluir una columna con la Fecha de recoleccion en formato dd/mm/aaaa. Por ejemplo, 05/04/2020 que indica 5 de abril de 2020

Los residuos con características urbanas (RSU) para los que se tiene registro son los siguientes:

- Materia organica vegetal (Vegetales)
- Restos de comida (Comidas)
- Tereftalato de polietileno (PET)
- Papel de oficinas (Papel)
- Tapas de polipropileno (Tapas)
- Hojalata (Hojalata)
- Polietileno de alta densidad (HDPE)
- Aluminio (Al)
- Plasticos rigidos (Plasticos)
- Carton (Carton)
- Vidrio (Vidrio)
- Aleaciones ferrosas (Fierro)
- Palos de madera de productos de limpieza (Palos)
- Madera (Madera)
- Papel higienico (Higienicos)
- Poliestireno expandido (Unicel)
- Textiles (Textil)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Multilaminados (Tetrapack)

Esta lista esta en funcion de los principales subproductos identificados en una Institucion de Educacion Superior (IES), ademas de depender de la valorizacion de estos en el mercado. La siguiente lista proporciona enlaces a

Finalmente, la aplicación web interactiva ESTIMCATRE está alojada en el servidor web remoto shinyapps.io para su consulta gratuita. El link de acceso a esta aplicación es el siguiente: <https://estimcatre.shinyapps.io/AppR/>.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
Mexico.

CAPÍTULO 8
REFERENCIAS



8. REFERENCIAS

- Abeliotis, K., Lasaridi, K., & Costarelli, V. (2015). The implications of food waste generation on climate change: The case of Greece. *Sustainable Production and Consumption*, 8-14.
- Adeniran, A., Nubi, A., & Adelopo, A. (2017). Solid waste generation and characterization in the University of Lagos for a sustainable waste management. *Waste Management*. (67), 3-10.
- Armijo de Vega C., Ojeda S., Ramírez E. & Quintanilla M.A. (2006). Potencial de reciclaje de los residuos de una institución de educación superior: el caso de la Universidad Autónoma de Baja California. *Ingeniería*. 10 (3), 13-21.
- Astrup, T., Fruergaard, T. & Christensen T.H. (2009). Recycling of plastic: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *wm&r*, 27: 763–772.
- Bogner, J., Abdelrafie, A. M., Díaz, C., Faaij, A., Gao, Q., & Hashimoto, S. (2007). Climate Change 2007: Mitigation Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the International Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. *Waste management In*.
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*. 8(10), 1-12.
- Castillo L.E. & Luzardo M. (2013). Evaluación del manejo de residuos sólidos en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC*. 22 (34), 71-84.
- Clavero Rodrigo, M. E. (2016). BIOLEACH: un modelo matemático para la evaluación conjunta de la producción de lixiviados y biogás en vertederos de RSU. 127. Retrieved from [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/74687/Rodrigo - BIOLEACH%3A un modelo matemático para la evaluación conjunta de la producción de lixiviad....pdf?sequence=2](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/74687/Rodrigo%20-%20BIOLEACH%3A%20un%20modelo%20matemático%20para%20la%20evaluación%20conjunta%20de%20la%20producción%20de%20lixiviad....pdf?sequence=2)
- Centro Mario Molina. (2014). Programa de educación en cambio climático. México, 154 pp.
- Climático, G. I. (2015). CAMBIO CLIMÁTICO 2014. NY, Estados Unidos de América: IPCC.
- Colque Pinelo, M. T., y Sánchez Campos, V. E. (2007). Los Gases de Efecto Invernadero: ¿Por qué se produce el Calentamiento Global?. Asociación Civil Labor / Amigos de la Tierra. Lima, Perú.



- EEA, European Environment Agency. (2013). *Managing municipal solid waste— a review of achievements in 32 European countries*. Denmark.
- Del Ángel S.M.M. (2017). Propuesta para el Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en una Institución de Educación Superior. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*. 4(7).
- Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Información tecnológica*. 23(1), 163-176.
- Espinosa, C., Torres, M. L., Arrechea, A. P., Mayarí, R., & Fernández, A. (2007). La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como fuente potencial de producción de biogás. *Revista CENIC : Ciencias Biológicas*, 38(1), 33–37.
- Friedrich, E., & Trois, C. (2013). GHG emission factors developed for the recycling and composting of municipal waste in South African municipalities. *Waste Management*, 2520–2531.
- Fagnani E. & Guimaraes J. (2017). Waste management plan for higher education institutions in developing countries: The Continuous Improvement Cycle model. *Journal of Cleaner Production*. (147), 108-118.
- Gallardo A., Edo-Alcó N., Carlos M. & Renau M. (2016). The determination of waste generation and composition as an essential tool to improve the waste management plan of a university. *Waste Management*. (53), 3-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.013>
- Gómez, M. C. (2019). Cooperación Sur como herramienta eficiente para el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 13: Acción por el clima entre Colombia y Costa Rica durante los años 2016-2018. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/21223>.
- González, E. A. & Camacho, A. M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero de la fertilización nitrogenada en México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 8(8), 1733-1745.
- Guerrero Hernández, M., & Morales Brenes, A. (2012). Manual para neutralizar la huella de carbono en centros educativos. Costa Rica.
- Güereca, L. P., Torres, N., & Noyola, A. (2013). Carbon Footprint as a basis for a cleaner research institute in Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 47, 396-403.
- INECC-SEMARNAT (2012). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diagnóstico. México, 49 pp.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. México: INECC.



- IPCC (2015). Cambio climático 2014 Mitigación del cambio climático Resumen para responsables de políticas Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Resumen. Suiza, 33 pp.
- IPCC (2018). Resumen para responsables de políticas. Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Resumen. 32 pp.
- ISO (2006). ISO 14040 Gestión ambiental-Análisis del ciclo de vida Principios y marco de referencia. International Organization for Standardization.
- Maldonado L. (2006). Reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centros de educación superior: Estudio de caso. *Ingeniería*. 10 (1), 59-68.
- Mexicana, (1985). NMX-AA-15-1985-Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Muestreo-Método de cuarteo.
- Mexicana, (1984). NMX-AA-16-1984. Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Determinación de humedad.
- Mexicana, (1984). NMX-AA-18-1984 Protección al ambiente -Contaminación del suelo -Residuos sólidos -Determinación de cenizas.
- Mundial, B. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. *Washington, EUA*.
- Mundial, B. (2013). *WHAT A WASTE A Global Review of Solid Waste Management*. Washington, DC: Copyright.
- OMM. (2015). Boletín sobre los gases de efecto invernadero-N°11: Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2014. 4 pp. [En línea] https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7244
- PNUD. (2015).. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Cambio climático-Desarrollo sostenible. [En línea] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>. 06/04/2021



- PNUMA. (2015). *Informe de 2015 sobre la disparidad en las emisiones*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Robles, B. I. (2003). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. *Boletín IiE*, 91-97 pp.
- Robles F. (2008). Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios. 2a ed. Instituto Politécnico Nacional. México, 115 pp.
- Ruiz, M. (2012). Caracterización de residuos sólidos en la universidad iberoamericana, ciudad de México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28 (1), 93-97.
- Sánchez P.L.M., Laines C.J.R., & Sosa O.J.A. (2016). Estimación del potencial teórico de biogás en una granja de producción lechera de Tabasco. *Ciencia UANL*. (80) 54-56
- SEMARNAT (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales. Diagnóstico. México, 274 pp.
- SEMARNAT. (2013). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. México.
- SEMARNAT. (2012). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. INECC.
- SEMARNAT. (2009). Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones, Serie ¿Y el medio ambiente?. México. 97 pp.
- SEMARNAT. (2006). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. México.
- Tchbanoglous, G. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. México. *McGraw-Hill*.
- Turner, D. A., Williams, I. D., & Kemp, S. (2015). Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 186-197.
- Vargas O., Alvarado E., López C. & Cisneros V. (2015). Plan de manejo de residuos sólidos generados en la Universidad Tecnológica de Salamanca. *RelbCi.* 2 (5), 83-91.
- Vera P., Nájera H.A., García C.M. & Solís M. (2016). Manejo de residuos sólidos no peligrosos en una institución de educación superior. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo.* 5 (12), 90-103 . DOI: <https://doi.org/10.31644/imasd.12.2016.a06>
- Vilches, R., Dávila, F., & Varela, S. (2015). DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR. AÑO BASE 2012. *LA GRANJA: Revista de Ciencias de la Vida*, 34-45.



- Wang, Z., & Geng, L. (2015). Carbon emissions calculation from municipal solid waste and the influencing factors analysis in China. *Journal of Cleaner Production*(104), 77-184.
- Wark, K., & Warner, C.F. (2012). Contaminación del aire: origen y control. España. Limusa. Pp. 200.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



ANEXO 1

A continuación, se presenta el código de la Aplicación web creada con el lenguaje de programación Shiny de R Studio:

```
datosFactorescsv=read.csv("FactoresEmisioncsv.csv", header=TRUE)
sec_meses=seq(as.Date("2017/2/1"), length.out = 38, by = "months")
sec_anual=2017:2020
#library(shiny)
library(shinydashboard)
library(dygraphs)
library(plotly)
library(viridis)
header <- dashboardHeader(
  title="ESTIMCATRE: ESTIMADOR DE EMISION",
  titleWidth = 800
)
sidebar <- dashboardSidebar(
  sidebarMenu(
    menuItem("Importar datos",tabName = "datos",icon=icon("th")),
    menuItem("Series de tiempo mensual",tabName = "series",icon=icon("dashboard")),
    menuItem("Distribucion de subproductos", tabName = "subproductos", icon=icon("bar-
chart-o")),
    menuItem("Visualizacion de emisiones", tabName = "emisiones", icon=icon("bar-chart-
o")),
    menuItem("Informacion", tabName = "informacion", icon=icon("users"))
  ),
  tags$head(
```



```
tags$img(src='https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e9/Logo_de_la_UJAT
.svg',height='80',width='230'),
tags$style(HTML('
.skin-red .main-header .logo{
background-color: #fff;
color: #201545;
}
.skin-red .main-header .navbar {
background-color: #201545;
}
.skin-red .main-sidebar{
background-color: #201545;
}
.skin-red .sidebar-menu>li.active>a{
background: #201545;
}
'))))

body <- dashboardBody(
  tabItems(
    tabItem(tabName = "datos",
      checkboxInput("checkbox", label = "Usar datos de prueba (2017)", value =
FALSE),
      fileInput("file1", "Cargar archivo csv:"),
      verbatimTextOutput("verbatim1")
    ),
    tabItem(tabName = "series",
      selectInput("si_sub", "Serie de tiempo mensual/subproducto",
```



```
choices=c("Vegetal", "Comidas", "PET",
"Papel", "Tapas", "Hojalata", "HDPE",
"Al", "Plasticos", "Carton", "Vidrio", "Fierro", "palos", "Madera", "Higienicos",
"Unicel", "Textil", "PVC", "Tetrapack", "Totalxmes"),
selected="Vegetal"),
fluidRow(box(width=10,dygraphOutput("dygraph1"))),
fluidRow(box(width=10,dygraphOutput("dygraph2")))
),
tabItem(tabName = "subproductos",
radioButtons('opciones', 'Seleccione una opcion', choices=c('mensual', 'anual'),
inline = FALSE, selected="mensual"),
conditionalPanel(condition = "input.opciones=='mensual'",
selectInput("mensual","seleccione una opcion", choices = sec_meses)),
conditionalPanel(condition = "input.opciones=='anual'",
selectInput("anual","seleccione ano", choices = sec_anual)),
br(),br(),
plotlyOutput("plot_dist_mes")
),
tabItem(tabName = "emisiones",
fluidRow(
column(4,selectInput('seleci1','Factores de emision',
choices=names(datosFactorescsv)[2:4],
selected="DACBiol_Vhsa_Tab"))
# column(8,textInput("text", label = "Valores propuestos", value = "1,2,3,...19"))
),
radioButtons('opcionesvisem', 'tipo temporal de las emisiones',
choices=c('mensual', 'anual'),
inline = FALSE, selected="mensual"),
```



```
conditionalPanel(condition = "input.opcionesvisem=='mensual'",
  selectInput("mensual2", "seleccione una opcion", choices=sec_meses)),
conditionalPanel(condition = "input.opcionesvisem=='anual'",
  selectInput("anual2", "seleccione una opcion", choices=sec_anual)),
#selectInput("mensual2", "seleccione una opcion", choices=sec_meses),
plotlyOutput('plot1'),
plotlyOutput("plot2")),
tabItem(tabName = "informacion",
  tags$div(
    tags$p(strong("ESTIMCATRE"), "es una aplicacion web que realiza estimaciones
de emisiones de GEI (CO2e) generadas por algunos residuos solidos. Esta herramienta es
de gran utilidad en instituciones, principalmente educativas, donde se implementen
acciones de monitoreo de residuos generados diariamente y manejo de los mismos."),

    tags$p(strong("Para una adecuada ejecucion de los datos debe considerarse lo
siguiente:")),

    tags$ul(
      tags$li("Los datos deben estar capturados en una base de datos en el programa Microsoft
Excel."),

      tags$li("El formato de la base de datos debe ser .csv."),

      tags$li("No colocar acentos en los nombres de los subproductos o datos (aunque las reglas
ortograficas asi lo indiquen)."),

      tags$li("Se debe crear una columna de fechas, la cual contenga formato dd/mm/aa e inicie
con el dia 01 de todos los meses de monitoreo, por ejemplo: para el
mes de enero de 2018 el dato a ingresar sera 01/01/2018, para el mes de febrero sera
01/02/2018, para el mes de marzo 01/03/2018 y asi sucesivamente
hasta llegar al ultimo mes de monitoreo.")),
```



tags\$li("Los datos de generacion de cada subproducto deberan ser colocados en columnas despues de la columna de fechas de monitoreo."),

tags\$li("Al final de las columnas de los subproductos debera colocar una columna mas con los datos de la generacion total de ese mes (este paso es opcional).")
)

tags\$img(src='https://onedrive.live.com/?cid=57B7A7B1F755066D&id=57B7A7B1F755066D%215001&parId=root&o=OneUp',height='80',width='230'),

tags\$p(strong("Los residuos con características urbanas (RSU) para los que se tiene registro son los siguientes:"))

),

tags\$ul(

tags\$li("Materia organica vegetal (Vegetales)"

tags\$li("Restos de comida (Comidas)"

tags\$li("Tereftalato de polietileno (PET)"

tags\$li("Papel de oficinas (Papel)"

tags\$li("Tapas de polipropileno (Tapas)"

tags\$li("Hojalata (Hojalata)"

tags\$li("Polietileno de alta densidad (HDPE)"

tags\$li("Aluminio (Al)"

tags\$li("Plasticos rigidos (Plasticos)"

tags\$li("Carton (Carton)"

tags\$li("Vidrio (Vidrio)"

tags\$li("Aleaciones ferrosas (Fierro)"

tags\$li("Palos de madera de productos de limpieza (Palos)"

tags\$li("Madera (Madera)"

tags\$li("Papel higienico (Higienicos)"

tags\$li("Poliestireno expandido (Unicel)"

tags\$li("Textiles (Textil)"



```

tags$li("Policloruro de vinilo (PVC)",
tags$li("Multilaminados (Tetrapack)"
),
tags$p(" *Esta lista esta en funcion de los principales subproductos identificados en
una Institucion de Educacion Superior (IES),
ademas de depender de la valorizacion de estos en el mercado."),
tags$p(strong("La siguiente lista proporciona enlaces a paginas electronicas en las
que se puede encontrar informacion relevante del tema")),
tags$a("Panel Intergubernamental de expertos sobre el cambio climatico,
IPCC",href="https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/"),
tags$p(" "),
tags$a("Secretaria de Medio Ambiente y Recursos
Naturales",href="https://www.gob.mx/semarnat"),
tags$p(" "),
tags$a("Aplicacion web
ANARE",href="https://sergiorhe6.shinyapps.io/ANARE/"),
tags$p(" "),
tags$a("Ver
LGPGIR",href="http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_180121.pdf"))
))

ui <- dashboardPage(skin = "blue",
  header,
  sidebar,
  body)
server <- function(input, output) {

####Panel Importar datos####
##se importa datos originales

```



```
datosimportados<-reactive({
  if (input$checkbox==TRUE){
    datosim=read.csv("Subproductos2017_2018.csv", header=TRUE)}else{
    inFile<-input$file1
    if(is.null(inFile))return(NULL)
    datosim=read.csv(inFile$datapath,header=TRUE)}
  datosim$Fecha=as.Date(datosim$Fecha, format="%d/%m/%Y")
  datosim
})

##se agrega variable Anual a los datos importados y se crea acumulados anuales con
aggregate
datos_anuales<-reactive({
  req(datosimportados())
  datos_anuales=datosimportados()
  datos_anuales$Anual=factor(format(datos_anuales$Fecha, '%Y'))
  datos_anuales=aggregate(x=datos_anuales[2:20],
by=datos_anuales[c("Anual")],FUN=function(y){sum(y, na.rm=TRUE)})
  datos_anuales
})

##se muestran los datos originales en el panel Importar datos. Creo debe cambiarse por
un
##resumen estadístico
output$verbatim1<-renderPrint({
  req(datosimportados())
  cat("Resumen estadístico a partir de los datos mensuales\n \n")
  #head(datosimportados())
  #head(datos_anuales())
  fresumen=function(x){round(c(suma_acumulada=sum(x,
na.rm=TRUE),media=mean(x,na.rm=TRUE),mediana=median(x,na.rm=TRUE),
```



```
minimo=min(x,na.rm=TRUE),maximo=max(x,na.rm=TRUE),desv.est=sd(x,na.rm=TRUE)),3)}  
t(sapply(datosimportados()[,2:20],fresumen))  
})  
  
####Panel Series de tiempo####  
#Serie de tiempo de subproductos  
output$dygraph1 <- renderDygraph({  
  req(datosimportados())  
  year=as.numeric(format(datosimportados()$Fecha[1],"% Y"))  
  mes=as.numeric(format(datosimportados()$Fecha[1],"% m"))  
  subproducto <- ts(frequency = 12, start = c(year, mes),data  
=datosimportados()[[input$si_sub]])  
  dygraph(subproducto, main = paste0("Subproducto:",input$si_sub))>%  
  dySeries("V1", label = "toneladas") %>%  
  dyAxis("y", label =input$si_sub) %>%  
  dyRangeSelector(height = 20)%>%  
  dyOptions(axisLineWidth = 1.5,fillGraph = TRUE, fillAlpha = 0.4,drawGrid =  
FALSE,axisLineColor = "navy")  
})  
  
#Serie de tiempo de temperatura y humedad relativa  
#https://rstudio.github.io/dygraphs/index.html  
output$dygraph2 <- renderDygraph({  
  req(datosimportados())  
  year=as.numeric(format(datosimportados()$Fecha[1],"% Y"))  
  mes=as.numeric(format(datosimportados()$Fecha[1],"% m"))  
  temperatura <- ts(frequency = 12, start = c(year, mes),data  
=datosimportados()$air_temp)  
  humedad <- ts(frequency = 12, start = c(year, mes),data = datosimportados()$HR)
```



```
weather <- cbind(temperatura, humedad)
dygraph(weather) %>%
  dyAxis("y", label = "Temperatura (C)") %>%
  dyAxis("y2", label = "Humedad Relativa (%)", independentTicks = TRUE) %>%
  dySeries("humedad", axis = 'y2') %>%
  dyOptions(drawPoints = TRUE, pointSize = 2) %>%
  dyHighlight(highlightCircleSize = 5,
              highlightSeriesBackgroundAlpha = 0.2,
              hideOnMouseOut = FALSE, highlightSeriesOpts = list(strokeWidth = 2))
})

##Panel Distribucion de subproductos##
output$plot_dist_mes <- renderPlotly({
  req(datosimportados(), datos_anuales())
  datosSub = datosimportados()
  nombres = names(datosSub)[2:20]
  x <- names(datosSub)[2:20]
  if(input$opciones == "mensual"){
    indice = which(input$mensual == sec_meses)
    y1 <- as.numeric(datosSub[indice, 2:20])
    data <- data.frame(x, y1)
    data$x <- factor(data$x, levels = data[["x"]])
    fig <- plot_ly(data, x = ~x, y = ~y1,
                  type = 'bar',
                  marker = list(color = viridis(20),
                                line = list(color = "black",
                                             width = 1.5)))

    fig <- fig %>% layout(title = "Subproductos",
                        xaxis = list(title = "", tickangle = -90, showgrid = T),
```



```
        yaxis = list(title = "ton",zeroline = FALSE,showgrid = T),
        margin = list(b = 100))

    fig
  }else{
    indice=which(input$anual==sec_anual)
    y2=as.numeric(datos_anuales()[indice,2:20])
    data <- data.frame(x, y2)
    data$x <- factor(data$x, levels = data[["x"]])
    fig <- plot_ly(data, x = ~x, y = ~y2,
                  type = 'bar',
                  marker = list(color = viridis(20),
                                line = list(color = "black",
                                            width = 1.5)))

    fig <- fig %>% layout(title = "Subproductos",
                        xaxis = list(title = "", tickangle = -90,showgrid = T),
                        yaxis = list(title = "ton",zeroline = FALSE,showgrid = T),
                        margin = list(b = 100))

    fig }
  })

##Panel Visualizacion de emisiones##
output$plot1 <- renderPlotly({
  req(datosimportados())
  datosSub=datosimportados()
  if(input$opcionesvisem=="mensual"){
    indice=which(input$mensual2==sec_meses)
    Emisiones=datosSub[indice,2:20]*datosFactorescsv[,input$seleci1]
    indice2=which(Emisiones<0)
    x=names(Emisiones[indice2])
```



```
y1=-as.vector(as.matrix(Emissiones[indice2]))
data <- data.frame(x, y1)
data$x <- factor(data$x, levels = data[["x"]])
fig <- plot_ly(data, x = ~x, y = ~y1,
              type = 'bar',
              marker = list(color = viridis(20),
                           line = list(color = "black",
                                       width = 1.5)))

fig <- fig %>% layout(title = "Emisiones negativas",
                    xaxis = list(title = "", tickangle = -90, showgrid = T),
                    yaxis = list(title = "ton", zeroline = FALSE, showgrid = T),
                    margin = list(b = 100))

fig} else {
  indice=which(input$anual2==sec_anual)
  Emissiones=datos_anuales()[indice,2:20]*datosFactorescsv[,input$seleci1]
  indice2=which(Emissiones<0)
  x=names(Emissiones)[indice2]
  y1=-as.vector(as.matrix(Emissiones[indice2]))
  data <- data.frame(x, y1)
  data$x <- factor(data$x, levels = data[["x"]])
  fig <- plot_ly(data, x = ~x, y = ~y1,
                type = 'bar',
                marker = list(color = viridis(20),
                              line = list(color = "black",
                                          width = 1.5)))

  fig <- fig %>% layout(title = "Emisiones negativas",
```



```
xaxis = list(title = "", tickangle = -90,showgrid = T),
yaxis = list(title = "ton",zeroline = FALSE,showgrid = T),
margin = list(b = 100))
fig}
})

output$plot2 <- renderPlotly({
  req(datosimportados())
  datosSub=datosimportados()
  if(input$opcionesvisem=="mensual"){
    indice=which(input$mensual2==sec_meses)
    Emisiones=datosSub[indice,2:20]*datosFactorescsv[,input$seleci1]
    indice2=which(Emisiones>0)
    x=names(Emisiones[indice2])
    y2=as.vector(as.matrix(Emisiones[indice2]))
    data <- data.frame(x, y2)
    data$x <- factor(data$x, levels = data[["x"]])
    fig <- plot_ly(data, x = ~x, y = ~y2,
      marker = list(color = viridis(20),
        line = list(color = "black",
          width = 1.5)))

    fig <- fig %>% layout(title = "Emisiones positivas",
      xaxis = list(title = "", tickangle = -90,showgrid = T),
      yaxis = list(title = "ton",zeroline = FALSE,showgrid = T),
      margin = list(b = 100))
  }else{
    indice=which(input$anual2==sec_anual)
    Emisiones=datos_anuales()[indice,2:20]*datosFactorescsv[,input$seleci1]
```



```
indice2=which(Emissiones>0)
x=names(Emissiones[indice2])
y2=as.vector(as.matrix(Emissiones[indice2]))
data <- data.frame(x, y2)
data$x <- factor(data$x, levels = data[["x"]])
fig <- plot_ly(data, x = ~x, y = ~y2,
               type = 'bar',
               marker = list(color = viridis(20), line = list(color = "black", width = 1.5)))
fig <- fig %>% layout(title = "Emisiones positivas",
                    xaxis = list(title = "", tickangle = -90,showgrid = T),
                    yaxis = list(title = "ton",zeroline = FALSE,showgrid = T),
                    margin = list(b = 100))
fig}
})
}

shinyApp(ui, server)
#shiny::shinyApp(ui, server)
```



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIRECCIÓN DE PROGRAMAS ESTUDIANTILES

SECRETARÍA DE SERVICIOS ACADÉMICOS

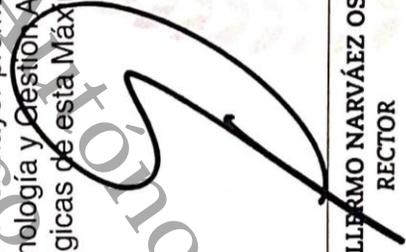
UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
"ESTUDIO EN LA BÚSQUEDA, ACCIÓN EN LA VIDA"

Otorga la presente

CONSTANCIA

A: GUADALUPE HERNÁNDEZ GERÓNIMO

Por hacerse acreedor al Reconocimiento "Manuel Sánchez MármoI 2021" a la Excelencia Estudiantil Universitaria, al obtener el mayor promedio de aprovechamiento académico en la Maestría en Ingeniería, Tecnología y Gestión Ambiental en la División Académica de Ciencias Biológicas de esta Máxima Casa de Estudios.


LIC. GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO
RECTOR

Villahermosa, Tabasco, México.

25 de marzo de 2022