



INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE SAN LUIS POTOSÍ

Revista TeCEO

Tecnología, Ciencia y Estudios Organizacionales

Volumen 3
Edición 1

Revista digital

Agosto - Diciembre 2021

ISSN 2549-1410

Editorial

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que ha enfrentado la humanidad. El pasado 9 de agosto se publicó el informe Cambio Climático 2021: Bases Físicas, elaborado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, en el que se da cuenta de cambios observados en el clima del planeta que no tienen precedentes en cientos de miles de años, y no podrán ser revertidos hasta dentro de varios siglos (IPCC, 2021).

A pesar de lo anterior, el mismo informe ratifica la esperanza de que una reducción rápida y a gran escala en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente de dióxido de carbono (CO₂), podría ayudar a estabilizar la temperatura del planeta en un horizonte temporal de 20 a 30 años. Sin embargo, lograr una reducción sustancial de GEI implica esfuerzos inéditos para los gobiernos, empresas y sociedad en todos los países.

Aunque las políticas públicas representan uno de los instrumentos más poderosos para detonar y conducir este tipo de cambios, la investigación científica y la innovación tecnológica juegan un papel clave porque alimentan cualquier esfuerzo organizado para contener el efecto producido por la acción humana sobre el planeta.

En este número, nuestra revista Tecnología, Ciencia y Estudios Sociales (TeCEO), aborda diferentes aproximaciones al fenómeno del cambio climático y sus implicaciones económicas.

En primer lugar se presenta el artículo Evaluación de la Huella de Carbono de las Microempresas en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí, en el cuál se realiza un cálculo de las emisiones de CO₂ producidas por este tipo de unidades económicas a partir de su consumo eléctrico, y se estima la mejora que produciría la implementación de energía renovable en este sector de la economía.

En el mismo orden de ideas, se presenta el artículo Evaluación financiera y ambiental de un proyecto de transición energética en una microempresa, en el cuál se exploran las percepciones de los microempresarios de San Luis Potosí respecto a la energía renovable, se evalúa desde el punto de vista financiero la implementación de un Sistema Fotovoltaico interconectado a la red eléctrica, y se estima su beneficio económico y ambiental.

También se presenta el artículo Procesos de calidad en exportación de aguacate de Uruapan Michoacán a Estados Unidos, en el cuál se analiza el modelo de gestión utilizado por las empresas exportadoras de aguacate, el cumplimiento de requisitos de certificación, y las implicaciones de tener un enfoque de planeación estratégica en el sector agroindustrial.

Finalmente se presenta el artículo Evaluación del modelo meteorológico WRF para validación del modelo AERMOD en el cuál se evalúa la sensibilidad de la base de datos meteorológicos generadas por el sistema de modelización meteorológico WRF (Weather Research and Forecasting), extrayendo los valores representativos para un sitio con el modelo MMIF (Mesoscale Model Interface). Esta herramienta resulta clave para los estudios de contaminación atmosférica y calidad del aire mediante modelado matemático.

CONSEJO EDITORIAL

1. Dra. Esperanza Aguillón Robles
Presidenta del Consejo Editorial
2. Dra. Beatriz Dubelza Oliva Garza
Secretaria Académico
3. M.C. Octavio Villalobos Fernández
Secretario de Relaciones Internas y Externas
4. Ing. Ángela Rebeca Garcés Rodríguez
Secretaria de Finanzas y Comercialización
5. Ing. Brenda Córdova Nepomuceno
Secretaria Técnica
6. Dra. Indira Dalí Castillo Ramírez
Jefa de Información
7. Lic. Irany Fuentes García
Jefa de Edición y Producción
8. Ing. Juan Santos Jiménez Aranda
Jefe de Edición Digital

COMITÉ ACADÉMICO

1. Dr. Francisco Javier Segura Mojica
2. Dr. Ramón Díaz de León Zapata
3. Dr. Juan Arturo Mendoza Razo
4. Mtra. Rosa Hilda Félix Jácques
5. Dr. Antonio Zárate Marcelaño
6. Dr. Saúl Almazán Cuellar

Contenido

Editorial	1
Evaluación de la Huella de Carbono de las Microempresas en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí.	3
Evaluación financiera y huella de carbono de un proyecto de transición energética en una microempresa.	17
Procesos de calidad en exportación de aguacate de Uruapan Michoacán a Estados Unidos.	36
Evaluación del modelo meteorológico WRF para la validación del modelo AERMOD.	56

Evaluación de la Huella de Carbono de las Microempresas en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí.

Jesús Jovani Gómez Vega¹

Metzly Desiree Flores Gutiérrez¹

Elsa Castillo Carrillo¹

¹Instituto Tecnológico de San Luis Potosí

Av. Tecnológico S/N, Col. UPA, Soledad de Graciano Sánchez, México, C.P. 78376 TeL: (444)

818 21 36

elsa.cc@slp.tecnm.mx

Resumen

En este artículo se presenta una estimación del consumo eléctrico de las microempresas establecidas en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez; la evaluación de su Huella de Carbono y Daños a la Salud Humana utilizando el modelo EcoInvent 2.2 Database with ReCiPe Assessment Method Hierarchist with World Normalization; y los beneficios que generaría el uso de electricidad producida a partir de energía fotovoltaica. Se encontró que el consumo de electricidad en las microempresas establecidas en la ZM-SLP-SGC oscila entre 199.34 y 278.79 millones de kw/h; las emisiones de CO₂ de las microempresas en la ZM-SLP-SGS oscilan entre 146 778 y 205 283 toneladas por año; y la sustitución de energía eléctrica convencional por paneles fotovoltaicos representaría una reducción de 92.4% en emisiones de CO₂ y 90% en Disability Adjusted Life Year (DALY).

Palabras clave — Impacto ambiental, huella de carbono, consumo energético, microempresa, zona metropolitana, energía renovable, alternativas de mitigación.

Abstract

This article presents an estimate of the electricity consumption of the micro-enterprises established in the Metropolitan Zone of San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez; the evaluation of its Carbon Footprint and Damage to Human Health using the EcoInvent 2.2 Database with ReCiPe Assessment Method Hierarchist with World Normalization model; and the benefits that would be generated by the use of electricity produced from photovoltaic energy. It was found that the electricity consumption in the microenterprises established in the ZM-SLP-SGC ranges between 199.34 and 278.79 million kw / h; CO₂ emissions from micro-enterprises in the ZM-SLP-SGS range between 146 778 and 205 283 tons per year; and the replacement of conventional electrical energy by photovoltaic panels would represent a reduction of 92.4% in CO₂ emissions and 90% in Disability Adjusted Life Year (DALY).

Keywords — Environmental impact, carbon footprint, energy consumption, microenterprise, metropolitan area, renewable energy, mitigation alternatives.

I. Introducción

La Huella de Carbono (HdC) es un concepto que se utiliza para estimar la forma en que las actividades humanas inciden sobre el clima del planeta al medir la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociados a la producción y consumo humano. Los gases de efecto invernadero fueron definidos en el Protocolo de Kioto en 1997, y son los componentes que se acumulan en la parte media de la atmósfera de la Tierra y que al absorber parte de la radiación solar contribuyen al calentamiento global.

Aunque no todos GEI son resultado de la actividad humana, el Dióxido de Carbono (CO₂) se asocia con gran parte de nuestros procesos industriales, entre los que se encuentra la producción de energía eléctrica.

El objetivo de la investigación fue estimar los patrones de consumo de energía eléctrica en microempresas en la zona metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez, estimar su impacto en términos de HdC, y evaluar los

beneficios de utilizar energía renovable en términos de reducción de CO₂ y daños a la salud humana .

Las preguntas de investigación son:

1. ¿Qué cantidad de electricidad consumen las microempresas instaladas en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez?
2. Con base en la electricidad consumida ¿Qué cantidad de CO₂ se libera a la atmósfera?
3. ¿Cuál es el beneficio potencial de sustituir la generación convencional de electricidad por energía renovable en términos HdC (emisiones de CO₂) y daños a la salud humana?

II. Marco Teórico

El clima se define como “el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, el cual se caracteriza por los estados y evoluciones del tiempo en un lugar o región determinada o en el planeta entero, durante un período de tiempo relativamente largo” (Benavides y León, 2007: 1). Existen factores conocidos como *forzantes* los cuáles ocasionan variaciones en el clima, y son clasificados como internos (actividad volcánica, circulación del oceano, composición de la atmósfera) y externos (variaciones orbitales y solares).

La composición atmosférica es el factor donde las actividades humanas ejercen un mayor grado de influencia, y esto se da especialmente a través de los GEI de origen antropogénico, entre los que destacan el CO₂, así como los clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC) e hidroclorofluorocarbonos (HCFC) (Benavides y Leon, 2007: 22).

Los GEI se consideran relevantes en el fenómeno del calentamiento global debido a que se acumulan en la parte media de la atmósfera, atrapan la radiación solar que es devuelta por la tierra, y producen un incremento en la temperatura del planeta (Espíndola y Valderrama, 2012).

La huella de carbono se define como “la cantidad de emisión de gases relevantes para el cambio climático asociada a las actividades de producción, o consumo de los seres humanos (Schneider y Samaniego, 2009). Según el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (World Resources Institute, 2004) la huella de carbono individual de una persona, organización o ámbito productivo se conforma por la suma de dos partes:

- La huella primaria, que es la cantidad de emisiones directas de CO₂, a partir de la quema de combustibles fósiles, incluyendo el consumo de energía y transporte, sobre los cuales tenemos control directo.
- La huella secundaria, que estima la cantidad de emisiones indirectas de CO₂ de todo el ciclo de vida de los productos que consumimos —aquellos asociados con la manufactura y eventual descarte.

Zonas metropolitanas, microempresas y consumo energético

Una zona metropolitana se forma cuando una ciudad “rebaso su límite territorial político- administrativo para conformar un área urbana ubicada en dos o más municipios” (Sobrino, 2003). La formación de zonas metropolitanas es un proceso socio-espacial cuya dinámica incide y a su vez recibe influencia de fenómenos económicos y sociales tales como la división social y espacial del trabajo, la integración de las regiones al flujo de valor económico local y global, las cadenas de proveeduría y la globalización o especialización selectiva de las economías locales (Bernardes y Castillo, 2007).

Por su contribución en la generación de GEI, las zonas metropolitanas han sido caracterizadas por su densidad residencial y uso de suelo (Dávila-Bugarín, 2016); movilidad urbana, transporte de mercancías y políticas para gestionar la emisión de GEI (Crespo-García et al., 2010). Sin embargo, han sido pocas estudiadas por la contribución de sus unidades económicas a la emisión de GEI.

Al ser vista como una concentración de empresas (la mayoría de ellas de tamaño micro y pequeño, que consumen electricidad, agua, gasolina, y generan residuos

de diferentes tipos), una zona metropolitana debería ser analizada desde una perspectiva socio-energética (Pillet y Odum, 1987), lo que nos lleva a proponer una gestión de la energía y los residuos a partir de la identificación de flujos locales y regionales y aprovechar ventajas de localización y concentración. (Acselrad, 1999).

En este sentido, cabe apuntar que la Zona Metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez (ZM-SLP-SGS) cuenta con una población de 1.24 millones de habitantes (INEGI, 2020) y 53 mil microempresas (INEGI, 2021). Sin embargo, la mayor parte de la electricidad que se consume en la ZM-SLP-SGS se produce en la central termoeléctrica de Villa de Reyes, la cuál funciona a base de combustóleo, y por tanto, es una importante fuente de GEI. Este municipio cuenta con una población de 52 mil habitantes, pero en él se producen más emisiones de CO₂ que la capital del estado (29% contra 20% con respecto al total estatal, de acuerdo con Medellín et al., 2006). Esto sin mencionar que el proceso de generación de electricidad a través de un ciclo térmico de vapor ha contribuido a la sobreexplotación de su acuífero. En otras palabras, gran parte de los costos ambientales y de salud del consumo energético en la ZM-SLP-SGS son transferidos a otro municipio.

Esto nos da una idea la importancia de la gestión socio-energética que permita aprovechar las ventajas locales, sin comprometer los recursos no renovables y especialmente la salud de las comunidades ajenas a los polos de desarrollo. Como ejemplo, el municipio de San Luis Potosí registra una radiación solar de 5.9 kwh/m², considerada como muy alta, lo que representa un potencial inmejorable para la generación de electricidad mediante la instalación de sistemas fotovoltaicos (Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía-ESMAP, 2015)

Por lo que toca a las microempresas y su contribución al calentamiento global, la investigación se ha enfocado a caracterizar su impacto ambiental comparando los ámbitos rural y urbano (Priyadarshani et al., 2016); los cambios que produce la educación para el uso de las tecnologías verdes (Rajandran, 2013); y el papel que juegan los modelos diseñados para incentivar las prácticas sustentables, como

es el caso del Mecanismo de Desarrollo Limpio de las Naciones Unidas (CDM por sus siglas en inglés), a través del cuál las empresas que adoptan tecnologías verdes pueden obtener beneficios económicos a través de los certificados de reducción de emisiones o bonos de carbono (Mils y Jacobson, 2011).

Daños a la salud humana y su evaluación

Además de la generación de GEI, el consumo de electricidad basada en combustibles fósiles produce otras externalidades que también es posible evaluar. Los impactos sobre la salud son considerados efectos relevantes en un ciclo de combustibles, pues significan el 95 por ciento de los costos externos calculados. Por lo general, se intenta cuantificar las dimensiones mortalidad, morbilidad y accidentes. El Disability Adjusted Life Year (DALY) es una de las medidas más utilizadas para valorar el efecto que ocasiona la quema de combustibles en la salud humana. “La valoración del elemento mortalidad se basa en el willingness to pay (WTP), que significa la cantidad que una persona estaría dispuesta a pagar por correr riesgo de muerte”. (Saez, Cabal y Varela, 1999).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, un DALY equivale a un año de vida “saludable” perdido. La suma de los DALY en una población, también llamada ‘carga de la enfermedad’, corresponde a una medida de la diferencia entre el estado de salud actual y una situación de salud ideal, donde toda la población vive hasta una edad avanzada, libre de enfermedad y discapacidad (World Health Organization, 2015).

La forma de cálculo de un DALY es: $DALY = YLL + YLD$

Donde YLL corresponde al número de muertes multiplicado por la esperanza de vida estándar a la edad en que se produce la muerte; mientras que YLD corresponde al número de casos registrados por periodo multiplicado por la duración media de la enfermedad y un factor de ponderación que refleja su gravedad en una escala de 0 (salud perfecta) a 1 (muerte). (World Health Organization, 2015, citado por Segura et al., 2017).

III. Metodología

Se realizó una investigación de tipo cuantitativo, alcance descriptivo y diseño transversal no experimental. Las unidades de estudio son las microempresas establecidas en ZM-SLP-SGS, donde según el Directorio Nacional de Unidades Económicas (DENUE), funcionan actualmente 53 016 empresas con 10 o menos trabajadores (INEGI, 2021). Como instrumento para la recolección de información se utilizó un cuestionario, el cual se aplicó utilizando la plataforma Microsoft Forms a una muestra de 113 microempresas. Este tamaño de muestra nos permite trabajar con un margen de error de 8% y un nivel de confianza de 91%.

La muestra se analizó mediante estadística descriptiva, y para ello, se utilizó el software XLSTAT 2016.

Para el análisis de información y la determinación de la huella de carbono y otros impactos ambientales de las microempresas, se utilizó el software ReCiPe: Estimation of Emission Factors for different fuels for electricity generation in Mexico using EcoInvent 2.2 Database with ReCiPe Assessment Method Hierarchist with World Normalization (Sánchez, 2015), desarrollado por la Universidad de Harvard.

IV. Resultados

En primer término, se caracterizó la muestra considerando las variables *sector al que pertenece la empresa, pago bimestral por concepto de electricidad, y consumo en Kw/h por bimestre*. Los resultados se muestran en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Caracterización de la muestra

Sector	Frecuencia	
	Frecuencia por categoría	rel. por categoría (%)
Agrícola	6.000	5.357
Comercial	54.000	48.214
Industrial	17.000	15.179
Servicios	35.000	31.250
En promedio ¿cuánto paga bimestralmente por consumo eléctrico?		
De 1001 a 2000 pesos	32.000	28.319
De 2001 a 3000 pesos	12.000	10.619
De 3001 a 4000 pesos	12.000	10.619
De 4001 a 5000 pesos	9.000	7.965
Entre 5001 y 10000 pesos	4.000	3.540
Mas de 10000 pesos	8.000	7.080
Menos de 1000 pesos	36.000	31.858
Consumo en Kw/h por bimestre		
De 239 a 479 kw/h	32.000	28.319
De 718 a 957 kw/h	12.000	10.619
De 957 a 1196 kw/h	12.000	10.619
De 1196 a 1435 kw/h	9.000	7.965
De 1435 a 2871 kw/h	4.000	3.540
Más de 2871 kw/h	8.000	7.080
Menos de 239 kw/h	36.000	31.858

Fuente: Elaboración propia utilizando XLSTAT 2016.

Tabla 2. Porcentaje de microempresas en la muestra de acuerdo al sector económico y nivel de consumo eléctrico

	Agrícola	Industrial	Comercial	Servicios
Menos de 239 kw/h	33.3	17.6	38.2	28.6
De 239 a 479 kw/h	0	5.9	34.5	34.3
De 718 a 957 kw/h	33.3	11.8	10.9	5.7
De 957 a 1196 kw/h	33.3	11.8	7.3	11.4
De 1196 a 1435 kw/h	0	23.5	5.5	5.7
De 1435 a 2871 kw/h	0	5.9	1.8	5.7
Más de 2871 kw/h	0	23.5	1.8	8.6

Fuente: Elaboración propia.

Los microempresarios mencionan como principales factores de consumo eléctrico el uso de equipos de refrigeración (23%); equipo industrial como prensas, compresoras, cortadoras y bombas (14.15%); computadoras (13.26%); iluminación (11.5%); y climatización (6.19%).

Al extrapolar los datos a la población de microempresas que funcionan en San Luis Potosí, estratificándolas de acuerdo a su categoría de consumo, se obtuvo la tabla 2, en la que se pueden apreciar tres escenarios. En el primero de ellos, la estimación de consumo anualizado se da como función del límite inferior de cada categoría; en el segundo, se toma como referencia el valor promedio y en el tercero, el límite superior de cada categoría, con base en la siguiente ecuación:

$$CE = \sum_{i=1}^n L * kN * b$$

Donde:

CE= Consumo eléctrico estimado

L=Límite de la puntuación donde se encuentra el centil (inferior, medio, superior)

k= porcentaje de casos del centil

N=Tamaño de la población

b= Número de bimestres considerados para el cálculo anual (6)

Tabla 3. Escenarios de consumo eléctrico en las microempresas de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez

Categoría de consumo	Frecuencia relativa por categoría (%)	Escenario de consumo anual ajustado al límite inferior (Kw/h)	Escenario de consumo	
			anual ajustado al valor promedio de la categoría (Kw/h)	Escenario de consumo anual ajustado al límite superior de la categoría (Kw/h)
De 239 a 479 kw/h	28.319	21529187.68	32293781.52	43148455.65
De 718 a 957 kw/h	10.619	24254116.25	28290838.94	32327561.63
De 957 a 1196 kw/h	10.619	32327561.63	36364284.32	40401007.01
De 1196 a 1435 kw/h	7.965	30283248.15	33309040.92	36334833.7
De 1435 a 2871 kw/h	3.540	16158150.8	17503725.03	32327561.63
Más de 2871 kw/h	7.080	64655123.26	67346271.72	70037420.18
Menos de 239 kw/h	31.858	10134031.86	22244199.93	24220336.14
Estimación de consumo anual de las microempresas en la ZM de SLP-SGS		199341419.6	237352142.4	278797175.9

Fuente: Elaboración propia.

Como puede apreciarse, los escenarios de consumo anualizado oscilan entre 199.34 y 278.79 millones de Kw/h por año. Esta variación puede responder a factores tales como el clima o el incremento o disminución de las actividades económicas. También se detectó que pueden existir discrepancias con los registros de la Comisión Federal de Electricidad, debido a que una parte de las microempresas no cuentan con la tarifa Pequeña Demanda Baja Tensión (PDBT), pues se encuentran registrados como usuarios residenciales.

Posteriormente, se calcularon las emisiones de CO₂, así como los daños a la salud humana medidos en Disability Adjusted Life Year (DALY) para los tres escenarios. Para ello se utilizó el software ReCiPe: Estimation of Emission Factors for different fuels for electricity generation in Mexico using EcolInvent 2.2 Database with ReCiPe Assessment Method Hierarchist with World Normalization (Sánchez, 2015).

La ecuación para el cálculo de las emisiones de CO₂ derivadas de consumir electricidad producida a partir de combustóleo es:

$$GHG_1 = (E * 0.736) / 1000$$

Donde:

GHG= Gases de efecto invernadero (Tons CO₂ eq)

E= Electricidad consumida

La ecuación para el cálculo de las emisiones de CO₂ derivadas de consumir electricidad producida con un sistema fotovoltaíco techo plano multicristal 3Kwp es:

$$GHG_2 = (E * 0.055) / 1000$$

Tabla 4. Estimación de Emisiones de CO2 y Daños a la Salud Humana con base en el consumo eléctrico de las microempresas en la ZM de SLP-SGS

	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
	GHG Emissions (Tons CO2eq), Huella de Carbono	HH(DALYs)	GHG Emissions (Tons CO2eq), Huella de Carbono	HH(DALYs)	GHG Emissions (Tons CO2eq), Huella de Carbono	HH(DALYs)
Mezcla Mexicana Bajo Voltaje (Generación residencial, PYMEs y comercio pequeño)	607.94	146778.4	723.87	174766.4	850.264	205283
Fotovoltaica Techo Plano Multicristal 3KWp Mex	58.193	11085.42	69.29	13199.21	81.3889	15503.97
Beneficios del Proyecto	549.75	135693	654.58	161567.1	768.875	189779.1
% of change	-0.904	-0.92448	-0.9043	-0.92448	-0.9043	-0.92448

Fuente: Elaboración propia utilizando Ecolnvent 2.2 Database with ReCiPe Assessment Method Hierarchist with World Normalization. Harvard T.H. Chan School of Public Health, Boston MA.

La tabla 3 nos muestra los datos correspondientes a emisiones de CO₂ y DALY con electricidad convencional (Mezcla Mexicana Bajo Voltaje-Generación Residencial, PYMEs y comercio pequeño); y con energía solar (Fotovoltaica Techo Plano Multicristal 3KWp Mex). Como puede apreciarse, en el escenario intermedio, el consumo energético de las microempresas usando electricidad convencional en la ZM de San Luis Potosí-SGS equivale a generar 174 766 toneladas de CO₂ al año, es decir, un promedio de 3.29 toneladas de CO₂ por microempresa al año; de forma que si la población de microempresas adoptara tecnologías de energía limpia, como es el caso de la energía fotovoltaica, la emisión de CO₂ caería hasta 13 199 toneladas/año, es decir 0.24 toneladas por

microempresa. Cabe señalar que las emisiones no llegan a cero porque la fabricación y transporte de paneles solares también genera GEI.

V. Conclusiones

La mayoría de las microempresas en la zona metropolitana de San Luis Potosí, hacen uso de la energía convencional, desconociendo el daño que esta genera al medio ambiente y a la salud de las personas. Actualmente existen diferentes alternativas de energía renovable que son igual de efectivas que la energía convencional, teniendo la capacidad de sustituirla sin ningún tipo de problema. En este proyecto, se realizó una investigación y un análisis, para responder a las preguntas

¿Qué cantidad de electricidad consumen las microempresas instaladas en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez?

Con base en la información recabada se estima que el consumo de electricidad en las microempresas establecidas en la ZM-SLP-SGC oscila entre 199.34 y 278.79 millones de kw/h.

Con base en la electricidad consumida ¿Qué cantidad de CO₂ se libera a la atmósfera?

Utilizando EcoInvent 2.2 Database with ReCiPe Assessment Method Hierarchist with World Normalization, se estimó que las emisiones de CO₂ de las microempresas en la ZM-SLP-SGS oscilan entre 146.7 mil y 205.2 mil toneladas por año. Por otra parte, los daños a la salud humana medidos en Disability Adjusted Life Year (DALY) oscilan entre 607 y 850, según el escenario de consumo.

¿Cuál es el beneficio potencial de sustituir la generación convencional de electricidad por energía renovable en términos HdC (de emisiones de CO₂) y daños a la salud humana?

La sustitución de energía eléctrica convencional por paneles fotovoltaicos representaría una reducción de 92.4% en emisiones de CO₂ y 90% en Disability Adjusted Life Year (DALY).

Posteriores investigaciones pueden profundizar en la exploración de modelos técnicos y financieros que faciliten el acceso de las microempresas a la energía renovable estudiando alternativas tecnológicas apropiadas, relación costo-beneficio de implementación, alternativas de financiamiento e incentivos que proporciona el mercado energético nacional e internacional.

VI. Referencias

- Acselrad, H. (1999). Sustentabilidad y ciudad. EURE (Santiago), 25(74), 36-46.
- Benavides H. y León, G. (2007). Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático. ideam-meteo/008. Nota Técnica del IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Subdirección de Meteorología. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf> el 3 de agosto de 202.
- Bernardes, A., & Castillo, R. (2007). Dinámicas metropolitanas en la era de la globalización: la promoción inmobiliaria para empresas en la ciudad de São Paulo, Brasil. EURE (Santiago), 33(98), 45-56.
- Crespo-García, L. C., Cortés, A. G., Arroyo, F. J., & López, M. M. M. (2010). Buenas prácticas en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector del transporte. Revista Digital del Cedex, (157), 31-41.
- Dávila-Bugarín, Rafael. "Impacto de la densidad residencial y la diversidad de suelos en el consumo de gasolina. Caso: zonas metropolitanas en crecimiento en México". Tesis de maestría. Centro de Investigación y Docencia Económicas, 2016. <http://hdl.handle.net/11651/675>

- Espíndola, C., y Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Información Tecnológica*, 23(1), 163-176.
- INEGI (2021). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Información para la actualización e incorporación de unidades económicas al DENUE. Datos a agosto de 2021. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/> el 5 de agosto de 2021.
- INEGI (2020) Panorama Sociodemográfico de México, San Luis Potosí. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197971.pdf el 6 de agosto de 2021.
- Medellín, P., Ávalos, J., Magaña, V. (2006) Programa de Acción ante el Cambio Climático. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Recuperado de <https://slp.gob.mx/segam/Documentos%20compartidos/ESTUDIOS%20PROGRAMAS%20Y%20PROYECTOS/PEACC.pdf> el 6 de agosto de 2021.
- Mills, E., Jacobson, A. From carbon to light: a new framework for estimating greenhouse gas emissions reductions from replacing fuel-based lighting with LED systems. *Energy Efficiency* 4, 523-546 (2011). <https://doi.org/10.1007/s12053-011-9121-y>
- Pillet, G. y Odum H.T. (1987) *Énergie, écologie, économie*, Ginebra, Suiza, Georg Editeur.
- Priyadarshani, P., Singh, B. M., & Mohanty, H. (2016). Measuring Carbon footprint impacts of microfinance: an Empirical Study of deoghar District, jharkhand. *International Journal of Engineering Sciences and Management*, 78.
- Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía-ESMAP (2015). Evaluación rápida del uso de la energía. San Luis Potosí, México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/170903/28__San_Luis_Potos_.pdf el 6 de agosto de 2021
- Rajandran, K. V. R. (2013). Green technologies and business practices: a study on rural microenterprises in PURA scheme villages of Thanjavur District, Tamil Nadu, India. *International journal of environment and sustainable development*, 12(2), 197-203.
- Sáez, R., Cabal, H. y Varela, M. (1999). Costes y beneficios externos de la energía. Metodologías, resultados e influencia sobre la competitividad de las energías renovables. Madrid, España, CIEMAT.
- Sánchez, R. (2015). Estimation of Emission Factors for Different Fuels for Electricity Generation in Mexico using EcoInvent 2.2 Database with ReCiPe Assessment Method Hierarchist with World Normalization. Boston, Massachusetts. Harvard T.H. Chan School of Public Health.

Schneider, H. y Samaniego, J. (2009). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Segura, F., Rivera, P., Velázquez, B., (2017). Hacia una valoración del impacto ambiental de los servicios públicos en México. Comparando el uso de electricidad convencional con energías renovables. Alter Enfoques Críticos, Año 8, Núm. 15. Recuperado de <https://static1.squarespace.com/static/552c00efe4b0cdec4ea42d9f/t/59aeefbaa9db0906a3546bd3/1504636858988/ALTER+15-06.pdf> el 2 de agosto de 2021

Sobrino, J. (2003). Zonas metropolitanas de México en 2000: conformación territorial y movilidad de la población ocupada. Estudios demográficos y urbanos, 461-507.

World Health Organization (2015). Metrics: Disability- Adjusted Life Year (DALY) Quantifying the Burden of Disease from mortality and morbidity. Recuperado de http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/

World Resources Institute (2004). The Greenhouse Gas Protocol, A Corporate Accounting and Reporting Standard. Recuperado de <http://www.ghgprotocol.org>.

Evaluación financiera y huella de carbono de un proyecto de transición energética en una microempresa

Miguel Eduardo Zúñiga Puente¹

Tito Armando Zúñiga Gámez¹

¹Instituto Tecnológico de San Luis Potosí

Av. Tecnológico S/N, Col. UPA, Soledad de Graciano Sánchez, México, C.P. 78437

Tel: (444) 818 21 36

¹miguel.eduardo.zp@hotmail.com

Resumen

En este artículo se presenta una valoración de los factores que inciden en los microempresarios para decidir invertir en energía renovable; se muestran los indicadores financieros de un proyecto de inversión para reemplazar electricidad convencional por energía renovable en una microempresa; y se presenta el efecto de esa sustitución en términos de huella de carbono. Se recabó información a través de una encuesta, y para su análisis se utilizaron los software XLSTAT 2016, System Advisor Model (SAM), y ReCiPe: Estimation of Emission Factors for different fuels for electricity generation in Mexico using EcoInvent 2.2 Database. Entre los factores que influyen en las decisiones de invertir en energías renovables se identificaron la cantidad de información disponible para los usuarios y el tiempo de recuperación del capital; se encontró que el retorno de la inversión de un Sistema Fotovoltaico para una microempresa con un nivel de consumo promedio de 800 Kwh por bimestre es de 4.2 años; y se calculó una reducción de 92% en su huella de carbono al sustituir electricidad convencional por energía renovable.

Palabras clave — Huella de carbono, tecnologías renovables, análisis de recuperación, microempresas, financiamiento.

Abstract

This article presents an assessment of the factors that influence microentrepreneurs when deciding to invest in renewable energy; the financial indicators of an investment project to replace conventional electricity with renewable energy in a micro-enterprise are shown; and the effect of this substitution is presented in terms of carbon footprint. Information was collected through a survey and the XLSTAT 2016 software, ReCiPe: Estimation of Emission Factors for different fuels for electricity generation in Mexico using EcoInvent 2.2 Database and System Advisor Model (SAM), were used for its analysis. Among the factors that influence decisions to invest in renewable energies, the amount of information available to users and the capital recovery time were identified; It was found that the return on investment of a Photovoltaic System for a microenterprise with an average consumption level of 800 Kwh per two-month period is 4.2 years; and a 92% reduction in its carbon footprint was calculated by substituting conventional electricity for renewable energy.

Keywords — Carbon footprint, renewable technologies, recovery analysis, micro-enterprises, financing.

I. Introducción

El cambio climático ejerce cada vez mayor presión sobre los gobiernos y las comunidades alrededor del planeta. Sin embargo, aunque se cuenta con abundante información científica sobre este campo, y desarrollos tecnológicos que permiten reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), las acciones emprendidas por organismos internacionales, gobiernos, empresas y ciudadanía han sido insuficientes para detener, y en su caso revertir las emisiones de GEI y en general, el calentamiento global.

Entre los factores que contribuyen a incrementar la huella de carbono se encuentran los patrones de consumo en las poblaciones, la producción económica y la intensidad energética. Controlar estas variables es parte de los objetivos que los individuos y las empresas deberían cumplir para disminuir la huella de carbono. Implementar prácticas de eficiencia energética y producir

energía limpia serían algunas de las acciones más efectivas para reducir su contribución al cambio climático.

Entre las razones por las que las micro y pequeñas empresas se han visto limitadas en el proceso de adopción de tecnología para generar energía limpia, se encuentran los elevados costos y la insuficiencia de incentivos financieros que impulsen a los emprendedores a invertir parte de su capital en energía renovable. El objetivo de esta investigación es identificar los factores que influyen en las decisiones de inversión en energía renovable por parte de los microempresarios; y determinar el beneficio económico y ambiental de sustituir la energía eléctrica convencional por energía renovable en una microempresa.

Las preguntas de investigación son:

1. ¿Cuáles son los factores que influyen en los microempresarios para decidir invertir en energía renovable?
2. ¿Cuál es el flujo neto, período de recuperación de la inversión, tasa interna de retorno y el valor presente neto de un Sistema Fotovoltaico (SF) para suplir la demanda eléctrica en una microempresa?
3. ¿Cuál es el impacto de sustituir energía convencional por energía renovable en una microempresa, en términos de huella de carbono?

II. Marco Teórico

La huella de carbono es parte de una familia de indicadores de huella ecológica, que también incluye la huella hídrica y la huella de la tierra.

El concepto de la huella de carbono se origina a partir de la huella ecológica, discusión que fue desarrollada por Rees y Wackernagel en la década de 1990 y que estima el número de “tierras” que teóricamente se requerirían si todos en el planeta consumieran recursos al mismo nivel que produce el planeta.

La huella de carbono se ha usado como una medida de las emisiones de carbono para desarrollar planes de energía y se define como “la cantidad de emisión de gases relevantes para el cambio climático asociada a las actividades de producción, o consumo de los seres humanos (Schneider y Samaniego, 2009).

Las huellas de carbono son mucho más específicas que las huellas ecológicas, ya que miden las emisiones directas de gases que causan el cambio climático en la atmósfera. Según Hammond (2007), más que una huella (como la ecológica, hídrica o de la tierra) se trata de un peso de carbono en kilogramos o toneladas por persona o actividad.

La mitigación se refiere a las acciones para reducir y limitar las emisiones de CO₂ (dióxido de carbono). Entre las medidas de mitigación que se pueden poner en marcha para evitar el aumento de las emisiones contaminantes se encuentran practicar la eficiencia energética e intensificar el uso de energías renovables

Las *energías renovables* son aquellas fuentes de energía basadas en la utilización de recursos naturales: el sol, el viento o el agua. Se caracterizan por no utilizar combustibles fósiles, sino recursos naturales capaces de renovarse ilimitadamente.

Este tipo de recursos ayudan a potenciar el autoconsumo, son benéficas para el medio ambiente y pueden llegar a lugares aislados.

Regulación energética y mercado eléctrico en México

A pesar de los evidentes beneficios asociados a la incorporación de la energía verde en las actividades productivas y domésticas, la adopción de este tipo de tecnología ha sido lenta. La regulación energética juega un papel clave para acelerar o desacelerar este proceso.

Durante los años 2013 y 2014 se impulsó una reforma de la industria eléctrica en México; en ella se considera una transición de un sistema integrado verticalmente, con una empresa estatal preponderante en la producción, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, a uno centrado en un mercado eléctrico mayorista (MEM), con participación de una empresa estatal, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y empresas privadas concurrentes.

La Ley de la Industria Eléctrica introduce los certificados de energías limpias (CEL), con el fin de generar un esquema de obligaciones tanto para usuarios calificados como para los suministradores eléctricos, y de este modo estimular la

producción y consumo de energías limpias. La ley establece que además de la obligación de los usuarios de adquirir los CEL, se celebrarán convenios para homologarlos con instrumentos semejantes en otras jurisdicciones; será posible negociarlos y permitir el traslado de excedentes y faltantes (Diario Oficial de la Federación, 2014) lo que anticipa la creación de un mercado de bonos de carbono.

Por otro lado, cabría mencionar que desde el año 2010 existe una figura jurídica llamada Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Renovable o Sistema de Cogeneración en Pequeña Escala a través del cuál es posible que un usuario doméstico o comercial genere su propia electricidad a partir de fuentes renovables.

Si bien es cierto que el mercado eléctrico mayorista es un mecanismo que puede acelerar la transición energética, pues tiene entre sus objetivos atraer inversión en el campo de las energías renovables y promover la importación de gas licuado y natural para la producción de electricidad, hasta el momento no ha generado incentivos suficientes para acelerar la incorporación de las microempresas al mercado de las energías limpias.

Entre las razones de mercado se encuentran los altos precios del equipo y especialmente el hecho de que por el momento pareciera que son más económicas las energías producidas a partir de hidrocarburos que las energías limpias. Cabría mencionar también entre los factores de mercado, la asimetría en el acceso a la información relevante sobre el tema. Como se verá más adelante, la mayoría de los micro y pequeños empresarios carecen de información básica para comprender la tecnología y el mercado de las energías renovables. Finalmente, entre las razones de tipo organizacional se encuentran factores asociados al tamaño, profesionalización de la administración, capacidades para la absorción de nuevas tecnologías, y percepciones de los directivos sobre el tema energético.

Microempresas, rentabilidad y panorama ante el financiamiento

Las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas son estratégicas para el fortalecimiento económico y social de las regiones. Representan el 99.7 por ciento de las 86 mil 283 unidades económicas del tejido empresarial de San Luis Potosí. Aportan el 36.6 por ciento de la Producción Bruta Total estatal y generan el 69.1 por ciento de los empleos de los sectores manufacturero, comercio y servicios no financieros, lo que significa 266 mil 270 puestos laborales (Secretaría de Desarrollo Económico, 2016).

Con frecuencia, las microempresas se enfrentan a lo que Ramírez et al., (2017) llaman “trampa de la subsistencia” que consiste en depender de una demanda básica que sólo les provee ingresos para subsistir a corto plazo, ocasionando su descapitalización a largo plazo por el desgaste y depreciación de sus bienes de capital. Esta condición se asocia con su bajo nivel de diferenciación y poca agregación de valor, lo que ocasiona bajos márgenes de rentabilidad.

En el caso de México, también influyen las asimetrías de los mercados que ocasionan, por ejemplo, que las microempresas paguen costos más altos por servicios como la electricidad, en comparación con empresas grandes que participan como usuarios calificados en el MEM. Enriquez, Ramírez y Rosellón estiman que, en 2018, la inflexión de la curva precios de la electricidad en el mercado mayorista permaneció entre 2 000 y 3000 pesos/MWh para la mayoría de las regiones (es decir, entre 2 y 3 pesos por kw/h), mientras que las microempresas pagaron ese mismo año por concepto de tarifa PDBT (Pequeña demanda baja tensión) hasta 4.18 pesos kw/h, sin considerar otros factores de costo.

Otro tema en el que se aprecian las asimetrías a las que se enfrentan las microempresas es lo relativo al financiamiento bancario. León y Saavedra (2018) advierten que, para las Mipymes, el acceso al financiamiento bancario además de costoso, es desigual; las microempresas son vistas por los bancos como clientes de riesgo ante la carencia de garantías hipotecarias, alta mortalidad, baja productividad, y la posibilidad de que cambien el destino de los recursos prestados. La tasa de interés se determina por selección adversa al ser difícil distinguir entre pagadores y no pagadores, y ello, aunado a las imperfecciones del mercado de capitales, se convierte en un problema de racionamiento que

afecta en especial a las empresas de menor tamaño. De acuerdo con el Banco de México (2015), en México, solo el 29,5% de las empresas con menos de 100 empleados cuenta con financiamiento bancario.

Esto nos lleva a explorar alternativas de financiamiento menos convencionales y más innovadoras, como el financiamiento colectivo o crowdfunding (CF), modelo en el que numerosas personas cooperan para conseguir el dinero necesario para financiar proyectos o iniciativas de otras personas (Prestadero, 2019)

Las primeras plataformas de CF en México (Fondeadora y Prestadero) surgieron en 2012, y desde entonces la industria de Tecnología Financiera, en especial el CF, se ha fortalecido en el escenario de la Ley de Instituciones de Tecnología Financiera, también conocida como “Ley Fintech” cuya principal aportación ha sido brindar mayor seguridad a los solicitantes e inversionistas, con el fin de que el modelo siga creciendo en favor de sus usuarios.

Gradualmente, el ecosistema de CF se ha ramificado y especializado (AFICO, 2021) con plataformas enfocadas a sectores como tecnología (Doopla, Rocktech), inmobiliario (Briq, 100 Ladrillos), emprendimiento social (Donadora), créditos personales y empresariales (Afluente, Capital Funding Lab), entre otros. En el rubro energía renovable destaca la plataforma Red Girasol, primera plataforma en México y Latinoamérica enfocada al financiamiento de sistemas solares y tecnologías de energía limpia. Se dedica a conectar inversionistas que le prestan dinero a personas o empresas interesadas comprar e instalar paneles solares, con una promesa de retorno de inversión atractiva y con un ahorro sustancial a largo plazo para los usuarios domésticos y comerciales (Figura 1).

Figura 1. Ahorros proyectados en un esquema de crowdfunding para el financiamiento de un sistema fotovoltaico



Fuente: Red Girasol (2021).

III. Metodología

Se realizó una investigación de tipo cuantitativo, alcance descriptivo y diseño transversal no experimental. Las unidades de estudio son las microempresas establecidas en ZM-SLP-SGS, donde según el Directorio Nacional de Unidades Económicas (DENUE), funcionan actualmente 53 016 empresas con 10 o menos trabajadores (INEGI, 2021). Como instrumento para la recolección de información se utilizó un cuestionario, el cual se aplicó utilizando la plataforma Microsoft Forms a una muestra de 113 microempresas. Este tamaño de muestra nos permite trabajar con un margen de error de 8% y un nivel de confianza de 91%.

La muestra se analizó mediante estadística descriptiva, y para ello, se utilizó el software XLSTAT 2016.

Para estimar el rendimiento, costos de instalación, operación y mantenimiento del SF dados los parámetros de radiación solar y clima que corresponden a la Zona Metropolitana de San Luis Potosí, se utilizó el software System Advisor Model (SAM), desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) de los Estados Unidos.

Para el cálculo del flujo neto, período de recuperación, valor presente neto, tasa interna de retorno y amortización del crédito, se utilizó MS Excel para Mac 2021.

Para el análisis de información y la determinación de la huella de carbono y otros impactos ambientales de las microempresas, se utilizó el software ReCiPe: Estimation of Emission Factors for different fuels for electricity generation in Mexico using EcoInvent 2.2 Database with ReCiPe Assessment Method Hierarchist with World Normalization (Sánchez, 2015), desarrollado por la Universidad de Harvard.

Además, para la integración de las propuestas de mitigación se realizó una investigación documental en sitios web para identificar alternativas energéticas apropiadas, tomando como base los niveles de consumo eléctrico y los niveles de inversión necesaria para realizar el análisis de retorno financiero de la inclusión de tecnología renovable.

IV. Resultados

Estadística descriptiva

La tabla 1 nos muestra la estadística descriptiva de la muestra, en lo referente a las variables sector y gastos bimestrales del consumo eléctrico.

Tabla 1. Caracterización de la muestra

Sector	Frecuencia	Frecuencia
	por categoría	rel. por categoría (%)
Agrícola	6.000	5.357
Comercial	54.000	48.214
Industrial	17.000	15.179
Servicios	35.000	31.250

En promedio ¿cuánto paga bimestralmente por consumo eléctrico?

De 1001 a 2000 pesos	32.000	28.319
De 2001 a 3000 pesos	12.000	10.619
De 3001 a 4000 pesos	12.000	10.619
De 4001 a 5000 pesos	9.000	7.965
Entre 5001 y 10000 pesos	4.000	3.540
Mas de 10000 pesos	8.000	7.080
Menos de 1000 pesos	36.000	31.858

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 2 nos muestra las frecuencias de respuesta a las preguntas ¿Alguna vez ha considerado adquirir ecotecnología para su negocio?; y ¿Cuál de los siguientes factores considera que dificulta la adquisición de tecnología para ahorrar electricidad o agua? En lo referente a la primer pregunta, se puede observar que para la mayor parte de la muestra (86%), adquirir ecotecnología no es una prioridad. En lo que respecta a los factores que dificultan la adquisición de este tipo de equipos, los aspectos que más se mencionan son la falta de información, el costo, y el no contar con capital para realizar esa inversión.

Tabla 2. Intenciones de inversión en ecotecnología y factores que influyen negativamente

Pregunta	Sector	Frecuencia por categoría	Frecuencia rel. por categoría (%)
¿Alguna vez ha considerado adquirir ecotecnología para su negocio	No lo hemos considerado	86.000	76.106
	Si, contamos con calentador solar	13.000	11.504
	Si, ya hemos adquirido algún tipo de equipo para reducir el consumo de agua	13.000	11.504
	Si, ya hemos adquirido algún tipo de equipo para reducir el consumo electrico	1.000	0.885
¿Cuál de los siguientes factores considera que dificulta la adquisición de equipo para	El financiamiento bancario es muy caro (altos intereses)	6.000	5.310
	Los costos son elevados	26.000	23.009
	Los costos son elevados, No sabemos		
	cuento tiempo tardaremos en recuperar la inversion	1.000	0.885

ahorrar electricidad o agua?	Los costos son elevados, No tenemos capital para invertir en tecnología sustentable	1.000	0.885
	No sabemos cuanto tiempo tardaremos en recuperar la inversion	13.000	11.504
	No tenemos capital para invertir en tecnología sustentable	20.000	17.699
	No tenemos suficiente información sobre ese tipo de tecnología	38.000	33.628
	Otro	8.000	7.080

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 podemos ver la frecuencia de respuesta a las preguntas ¿Cuál de los siguientes factores lo incentivaría a invertir en energía renovable para su empresa? y ¿Cuál considera un rango de inversión razonable en ecotecnologías para su negocio?. En lo referente a incentivos, el principal sería lograr una rápida recuperación del capital invertido, mientras que un nivel de inversión atractivo sería en rangos menores a 30 mil pesos.

Tabla 3. Incentivos para la inversión en ecotecnología y rangos de inversión

Pregunta	Sector	Frecuencia por categoría	Frecuencia rel. por categoría (%)
¿Cuál de los siguientes factores lo incentivaría a invertir en energía renovable para su empresa?	Conseguir un financiamiento mas económico que el crédito bancario	15.000	13.274
	Contar con mayor información sobre las tecnologías disponibles	30.000	26.549
	Ninguno de los anteriores	8.000	7.080
	Recuperar la inversion rapidamente	60.000	53.097
¿Cuál considera un rango de inversión razonable en ecotecnologías para su negocio?	De 20001 a 30000 pesos	30.000	26.549
	De 30001 a 40000 pesos	17.000	15.044
	Mas de 40000 pesos	2.000	1.770
	Menos de 20000 pesos	38.000	33.628
	No podemos invertir en este momento	19.000	16.814

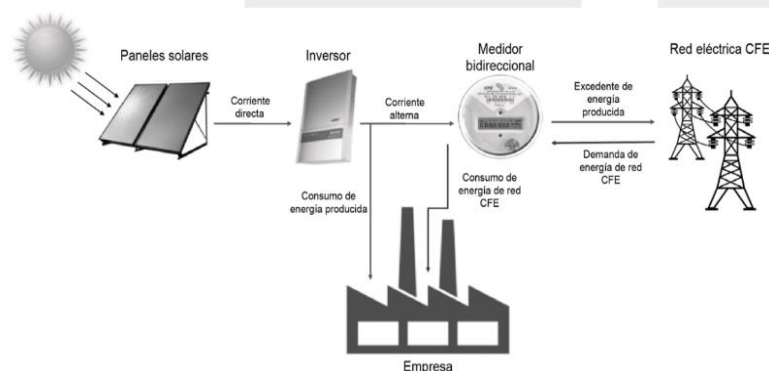
de 20001 a 30000 pesos	3.000	2.655
de 30001 a 40000 pesos	1.000	0.885
menos de 20000 pesos	3.000	2.655

Fuente: Elaboración propia

Análisis financiero de integrar tecnología para la sustentabilidad

Con el fin de estimar el beneficio económico y ambiental de sustituir energía eléctrica convencional por energía renovable, se utilizó el modelo de instalación fotovoltaica interconectada a la red de la CFE, cuyo esquema se muestra en la figura 2.

Figura 2. Esquema de una instalación fotovoltaica interconectada a la red de CFE



Fuente: Becerra et al., 2021.

En primer lugar se calcularon los kwh que pueden producirán mensualmente los equipos fotovoltaicos, dadas las condiciones de radiación promedio mensual en San Luis Potosí. Para ello se utilizó el software System Advisor Model (SAM), desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) de los Estados Unidos.

Para modelar los cálculos de generación y rentabilidad, se tomaron los datos de una de las empresas consideradas en la muestra, la cuál opera en el sector alimentos y bebidas, se ubica en el municipio de San Luis Potosí y genera 4 empleos directos. (Tabla 4)

Tabla 4. Datos de consumo eléctrico en una microempresa de alimentos y bebidas.

Bimestre	Kw/h	Facturación
		a la CFE
Mayo-Junio 20	1095	4546
Julio-Agosto 20	887	3712
Septiembre-Octubre 20	796	3412
Noviembre-Diciembre 20	723	3119
Enero-Febrero 21	368	2502
Marzo-Abril 21	1053	4398
Total	4922	21689

Fuente: Elaboración propia con base en recibo de la Comisión Federal de Electricidad.

Tomando como parámetros un nivel de radiación solar de 5.9 kwh/m²/día (Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía-ESMAP, 2015), un SF Techo Plano Multicristal con capacidad nominal de 2.5 kWdc (incluye paneles solares, inversor e instalación), una pérdida total estimada de 14.08%, se obtuvo producción estimada de electricidad para un año, como se muestra en la tabla 5. También se obtuvo una proyección de la electricidad generada por hora/mes/día, la cuál se muestra en el gráfico 1.

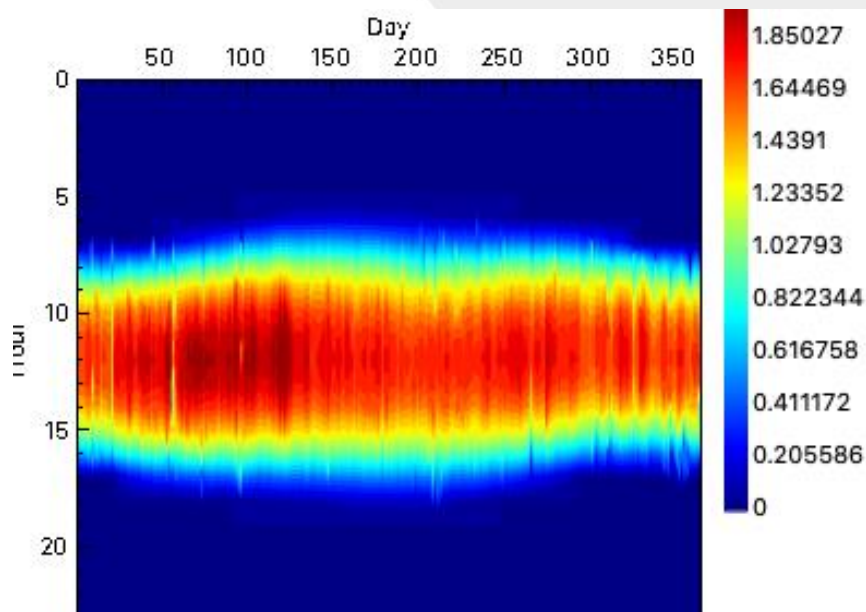
Tabla 5. Producción estimada de electricidad mediante SF

Mes	Kwh
1	301.129
2	311.688
3	395.956
4	417.66
5	437.248
6	417.096
7	395.178
8	386.974
9	372.364
10	359.245

	11	316.923
	12	282.846
Total		4394.307

Fuente: Elaboración propia utilizando System Advisor Model (SAM).

Figura 3.. Electricidad generada por el sistema de acuerdo a la hora del día. (Kw)



Fuente: System Advisor Model (SAM).

A partir de los datos obtenidos se obtuvo el flujo neto del proyecto, considerando un incremento anual de tarifas eléctricas equivalente a 5%, y una disminución en la capacidad de producción del SF de 0.05% anual, conforme a la proyección de rendimiento del System Advisor Model.

Para efectos del presente proyecto, se entiende como flujo neto a la diferencia entre la facturación total por el consumo eléctrico *sin* el proyecto menos la facturación total por el consumo eléctrico *con* el proyecto, lo que nos denota el beneficio económico de contar con el sistema fotovoltaico.

$$FN = (CF + E1 + IVA) - (CSF + CF + E2 + IVA + GM)$$

Donde:

FN=Flujo Neto

CF=Cargo Fijo

EI= Costo de la energía consumida sin el sistema fotovoltaico

IVA= Impuesto al Valor Agregado

CSF=Costo de instalar el sistema fotovoltaico

EI= Costo de la energía consumida con el sistema fotovoltaico

GM= Gastos de mantenimiento del Sistema Fotovoltáico

Flujo neto del proyecto de instalación de paneles solares, usuario PDBT (comercial)

Concepto	Año					
	1	2	3	4	5	6
Situación sin proyecto						
Factura Total	21,689.00	22,773.45	23,912.12	25,107.73	26,363.12	27,681.27
Cargo fijo	589.56	589.56	589.56	589.56	589.56	589.56
Energía	18,189.17	19,124.04	20,105.66	21,136.35	22,218.58	23,354.92
IVA	2,910.27	3,059.85	3,216.91	3,381.82	3,554.97	3,736.79
Consumo en kwh	4,922.00	4,922.00	4,922.00	4,922.00	4,922.00	4,922.00
Situación con el proyecto						
Factura Total	70,386.00	8,333.07	8,466.12	8,600.48	8,736.23	8,873.52
Instalación del sistema fotovoltaico	60,170.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cargo Fijo	589.00	618.45	649.37	681.84	715.93	751.73
IVA	9,627.00	436.01	454.36	472.89	491.62	510.55
Costo del consumo de electricidad	1,928.71	2,106.61	2,190.39	2,273.75	2,356.68	2,439.23
Energía generada por el sistema fotovoltaico en kwh	4,394.31	4,372.33	4,350.47	4,328.72	4,307.08	4,285.54
Energía comprada a la CFE en kwh	527.69	549.67	571.53	593.28	614.92	636.46
Gastos de mantenimiento	0.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
	-					
Flujo neto	48,697.00	14,440.38	15,446.00	16,507.25	17,626.88	18,807.75

Fuente: Elaboración propia

Si la instalación del SF se realizara con recursos propios, es decir, sin recurrir al crédito, la recuperación se lograría en 4.2 años, con una TIR de 7% y un Valor Presente Neto de \$8,930.94 a 5 años. Considerando que el SF tiene una vida útil de 25 años, se considera que el proyecto es rentable a mediano y largo plazo.

En caso de que la adquisición se realizara utilizando algún modelo de financiamiento, podría considerarse el modelo del Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE), cuya tasa de interés es el equivalente a la Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) + 5.5 puntos (por lo que aproximadamente es de 12%). En la tabla 8 se muestra la amortización del crédito por año y en la tabla 9, el flujo neto considerando pagos anuales por 16,691.00.

Tabla 7. Amortización del crédito con una Tasa de Interés al 12% anual.

Periodo	Saldo Inicial	Cuota fija	Interés	Abono a capital	Saldo final
0					\$60,170.00
1	\$60,170.00	\$16,691.74	\$7,220.40	\$9,471.34	\$50,698.66
2	\$50,698.66	\$16,691.74	\$6,083.84	\$10,607.90	\$40,090.75
3	\$40,090.75	\$16,691.74	\$4,810.89	\$11,880.85	\$28,209.90
4	\$28,209.90	\$16,691.74	\$3,385.19	\$13,306.56	\$14,903.34
5	\$14,903.34	\$16,691.74	\$1,788.40	\$14,903.34	\$0.00

Fuente: Elaboración propia.

Flujo neto del proyecto de instalación de paneles solares, usuario PDBT (comercial)

Concepto	Año					
	1	2	3	4	5	6
Situación sin proyecto						
Factura Total	21689	22773.45	23912.123	25107.73	26363.115	27681.27
Cargo fijo	589.56	589.56	589.56	589.56	589.56	589.56
Energía	18189.172	19124.04	20105.657	21136.35	22218.582	23354.92
IVA	2910.2676	3059.847	3216.9052	3381.816	3554.9731	3736.788
Consumo en kwh	4922	4922	4922	4922	4922	4922

Situación con el proyecto (financiado a una tasa de 12% anual)						
Factura Total	22532.1	22772.63	22905.683	23040.04	23175.792	3951.517
Instalación del sistema fotovoltaico	16691	16691	16691	16691	16691	0
Cargo Fijo	589	618.45	649.3725	681.8411	715.93318	751.7298
IVA	3073.3931	3106.57	3124.9218	3143.454	3162.1783	510.554
Costo del consumo de electricidad	1928.707	2106.61	2190.3887	2273.746	2356.6809	2439.233
Energía generada por el sistema fotovoltaico en kwh	4394.31	4372.33	4350.47	4328.72	4307.08	4285.54
Energía comprada a la CFE en kwh	527.69	549.67	571.53	593.28	614.92	636.46
Gastos de mantenimiento del SF	250	250	250	250	250	250
Flujo neto	-843.10006	0.820081	1006.4395	2067.688	3187.3227	23729.75

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se determinó el impacto de sustituir electricidad convencional por energía renovable en una microempresa. Para ello se utilizó el software ReCiPe: Estimation of Emission Factors for different fuels for electricity generation in Mexico using EcoInvent 2.2 Database. La tabla 9 nos muestra los beneficios del proyecto en términos de huella de carbono.

La ecuación para el cálculo de las emisiones de CO2 derivadas de consumir electricidad producida a partir de combustóleo es:

$$GHG1 = (E * 0.736) / 1000$$

Donde:

GHG= Gases de efecto invernadero (Tons CO2 eq)

E= Electricidad consumida

La ecuación para el cálculo de las emisiones de CO₂ derivadas de consumir electricidad producida con un sistema fotovoltaico techo plano multicristal 3Kwp es:

$$GHG_2 = (E * 0.055) / 1000$$

Tabla 9. Estimación de Emisiones de CO₂ con base en el consumo eléctrico de una microempresa en la ZM de SLP-SGS

Product/Process	GHG Emissions (Tons CO ₂ eq), Huella de Carbono
Mezcla Mexicana Bajo Voltaje (Generacion residencial, PYMEs y comercio pequeño)	3.235375753
Fotovoltaica Techo Plano Multicristal 3KWp Mex	0.244351349
Beneficios del Proyecto	2.991024405
% of change	-0.924475125

V. Conclusiones

Esta investigación permitió determinar que la mayoría de los microempresarios no cuentan con información suficiente acerca de energías renovables, el costo y alternativas para adquirir equipamiento, mientras que las pocas empresas que cuentan con cierta información, lo consideran un gasto fuera de presupuesto. Sin embargo, la investigación también ayudó a identificar aspectos clave que pueden ayudar a acelerar la transición energética de los micronegocios a través de las preguntas de investigación:

¿Cuáles son los factores que influyen en los microempresarios para decidir invertir en energía renovable?;

La información recolectada nos permitió identificar a los factores financiero (costo, financiamiento y recuperación de la inversión) e información (falta de conocimiento sobre las alternativas disponibles) como los principales factores que influyen en la decisión de invertir en energía renovable. En otras palabras, una estrategia comunicativa que muestre con claridad a los microempresarios las alternativas tecnológicas apropiadas para su negocio, el tiempo de recuperación de su inversión, y facilidades para el financiamiento, podría tener una influencia significativa en el proceso de transición energética de las microempresas.

¿Cuál es el flujo neto, período de recuperación de la inversión, tasa interna de retorno y el valor presente neto de un Sistema Fotovoltaico (SF) para suplir la demanda eléctrica en una microempresa?

El período de recuperación de un SF para una microempresa ubicada en un nivel de consumo promedio de 800 Kwh bimestrales, se ubica en 4.2 años, con una tasa interna de retorno de 7% y un valor presente neto de \$8930.94 a 5 años. Cabe señalar que en el modelo financiado se tiene un flujo neto positivo a partir del segundo año, lo que significa que la suma de los pagos correspondientes al capital, intereses y servicio eléctrico contando con el SF es menor que el pago del servicio convencional a partir del año 2 del proyecto.

¿Cuál es el impacto de sustituir energía convencional por energía renovable en una microempresa, en términos de huella de carbono?.

La sustitución de electricidad convencional por energía renovable en una microempresa con un consumo promedio de 800 Kwh bimestrales, representa la reducción de huella de carbono en un 92%, pasando de 3.23 a 0.24 Tons de CO₂eq

VI. Referencias

- Asociación de Plataformas de Fondo Colectivo-AFICO (2020). Ecosistema del crowdfunding mexicano. <http://bit.ly/36GiE9u>
- Banco de México (Banxico) (2015). Reporte sobre las condiciones de competencia en el otorgamiento de crédito a las pequeñas y medianas empresas (PYME). México <https://bit.ly/2LQ4yLI>
- Becerra-Pérez, L. A., González-Díaz, R. R., & Villegas-Gutiérrez, A. C. (2021). La energía solar fotovoltaica, análisis costo beneficio de los proyectos en México. RINDERESU, 5(2). Recuperado de <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/104> el 10 de agosto de 2021.
- Diario Oficial de la Federación (2014). Ley de la Industria Eléctrica. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014
- Enríquez, Alejandra, Ramírez, José Carlos, & Rosellón, Juan. (2019). Costos de generación, inversión y precios del sector eléctrico en México. Investigación económica, 78(309), 58-79. Epub 20 de mayo de 2020. <https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2019.309.70119>
- Factor energía. (2018, Agosto 30). Retrieved from <https://www.factorenergia.com/es/blog/noticias/energias-renovables-caracteristicas-tipos-nuevos-retos/>
- Hammond, G. Time to give due weight to the 'carbon footprint' issue. Nature 445, 256 (2007). <https://doi.org/10.1038/445256b>
- INEGI (2021). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Información para la actualización e incorporación de unidades económicas al DENUE. Datos a agosto de 2021. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/> el 5 de agosto de 2021.
- León, E.L., & Saavedra, M.L. (2018). Fuentes de financiamiento para las MIPYME en México. Cambio climático. Caso de estudio: evaluación del Programa del Cambio Climático del Estado de Chihuahua, 113. <https://bit.ly/3qQ5LRV>
- NREL (National Renewable Energy Laboratory) (2014). System Advisor Model (SAM). Recuperado de < <https://sam.nrel.gov/> >
- Prestadero. (2019). Crowdfunding: El despertar del financiamiento colectivo. Recuperado de <https://prestadero.com/blog/crowdfunding-el-despertar-del-financiamiento-colectivo/> el 01 de agosto de 2021

- Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía-ESMAP (2015). Evaluación rápida del uso de la energía. San Luis Potosí, México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/170903/28__San_Luis_Potos_.pdf el 6 de agosto de 2021
- Ramírez, Natanael, Mungaray, Alejandro, Aguilar, José G., & Inzunza, Ramón. (2017). Una explicación de la rentabilidad y poder de mercado de las microempresas marginadas. *Economía: teoría y práctica*, (46), 97-113. <https://doi.org/10.24275/etypuam/ne/462017/ramirez>
- Red Girasol (2021). ¿Quieres un crédito? Recuperado de <https://www.redgirasol.com/solicitantes> el 03 de agosto de 2021.
- Sánchez, R. (2015). Estimation of Emission Factors for Different Fuels for Electricity Generation in Mexico using EcoInvent 2.2 Database with ReCiPe Assessment Method Hierarchist with World Normalization. Boston, Massachusetts. Harvard T.H. Chan School of Public Health
- Schneider, H. y Samaniego, J. (2009). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Secretaria de Desarrollo Económico. (2016). Pymes, recursos y apoyos. Recuperado de <https://www.sedecosl.p.gob.mx/pymes/> el 01 de agosto de 2021
- Segura, F., Rivera, P., Velázquez, B., (2017). Hacia una valoración del impacto ambiental de los servicios públicos en México. Comparando el uso de electricidad convencional con energías renovables. *Alter Enfoques Críticos*, Año 8, Núm. 15. Recuperado de <https://static1.squarespace.com/static/552c00efe4b0cdec4ea42d9f/t/59aeefbaa9db0906a3546bd3/1504636858988/ALTER+15-06.pdf> el 2 de agosto de 2021
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). Our ecological footprint: reducing human impact on the earth (Vol. 9). New society publishers.

Procesos de calidad en exportación de aguacate de Uruapan Michoacán a Estados Unidos.

Suárez-Espinosa Brenda Crystal¹, Aguirre-Escalera Rodolfo, Chávez-Esquivel
Gilberto, Arévalo-Carrasco Francisco Jesús

¹Instituto Tecnológico Superior de Uruapan

Carr. Uruapan-Carapan 5555 Col. La Basilia, C. P. 60015.

Uruapan, Michoacán.

brenda.se@uruapan.tecnm.mx

Resumen

La presente investigación tiene la finalidad determinar el nivel de implementación de procesos enfocados a la calidad en las empresas que exportan aguacate a Estados Unidos ubicadas en la localidad de Uruapan, Michoacán, México. Los datos fueron obtenidos durante el año 2020 mediante la aplicación de un cuestionario diagnóstico en una muestra por conveniencia proporcionada por la Asociación de Productores Empacadores de Aguacate de la entidad y basado en la perspectiva procesos internos, donde se incluye la calidad de Kaplan y Norton (2002) y la Norma ISO 9001:2015, se realizó también un análisis de literatura sobre los principales esquemas para la exportación de fruto permitiendo también la obtención de las conclusiones de la investigación mediante el método inductivo. Los resultados refieren que las empresas bajo estudio mantienen un nivel alto de estandarización de procesos enfocados a la calidad, sin embargo, presentan áreas de oportunidad al identificarse que los principales retos del sector son la innovación, implementación de técnicas ingenieriles para el control del proceso, así como planeación a largo plazo.

Palabras clave: Calidad, exportación de aguacate, estandarización, planeación, sistemas de gestión.

Quality processes in avocado export from Uruapan Michoacán to the United States

Abstract

The purpose of this research is to determine the level of implementation of processes focused on quality in companies that export avocado to the United States located in the town of Uruapan, Michoacán, Mexico. The data were obtained during 2020 by applying a diagnostic questionnaire in a convenience sample provided by the entity's Association of Avocado Packers Producers and based on the internal processes perspective, which includes the quality of Kaplan and Norton (2002) and the ISO 9001: 2015 Standard, it was also carried out an analysis of the literature on the main schemes for the export of fruit, also allowing the obtaining of the conclusions of the research through the inductive method. The results refer that the companies under study maintain a high level of standardization of processes focused on quality, however, they present areas of opportunity when identifying that the main challenges of the sector are innovation, implementation of engineering techniques for process control, as well as long-term planning.

Keywords: *Quality, avocado export, standardization, planning, management systems.*

I. Introducción

El aguacate mexicano es un producto el cual se consume en 34 países del mundo, en lo referente a México, aproximadamente el 34% de las empresas del sector aguacatero se encuentran ubicadas en Uruapan Michoacán. En términos de generación de empleo, el cultivo de aguacate michoacano genera 310 mil empleos directos y 78 mil indirectos y se estima que cada mil toneladas cosechadas generan 160 empleos (SENASICA, 2020), es por ello que el mercado de exportación de aguacate es considerado un detonante para el desarrollo de la economía en las zonas donde se puede cultivar y comercializar el fruto. Actualmente, los sistemas de gestión de la calidad en las organizaciones son un instrumento que les permite tener una mayor y mejor administración en sus procesos. Las versiones más recientes de las normas de calidad ISO son un referente para aquellas organizaciones que busca la eficacia y competitividad,

por otra parte, estudios revelan que la certificación un paso muy importante para que una empresa emprenda su camino al crecimiento tanto económico como competitivo, lo que hace necesario la formalización, estructuración, estandarización de procesos para generar confianza y buen nivel competitivo, en este sentido, en la presente investigación se indaga en el principal sector económico del Municipio de Uruapan, el sector empresarial aguacatero para conocer el grado de implementación de procesos enfocados a la calidad de las empresas que exportan aguacate a otros países en miras de conocer los aspectos primordiales de sus buenas prácticas así como sus áreas de oportunidad. Posteriormente, se desarrollan un análisis de literatura sobre los principales esquemas para la exportación del fruto, así como la aplicación de un cuestionario diagnóstico con escala de medición tipo Likert para realizar el estudio. Se describe también los hallazgos de la investigación a partir de los resultados del cuestionario, lo que permitió determinar el nivel de estandarización de procesos enfocados a la calidad, así como la discusión de los resultados.

II. Marco teórico

Producir y exportar aguacate hoy en día es un negocio que tiene una demanda en aumento, para comprender mejor lo que ello implica, a continuación, se revisarán algunos conceptos importantes.

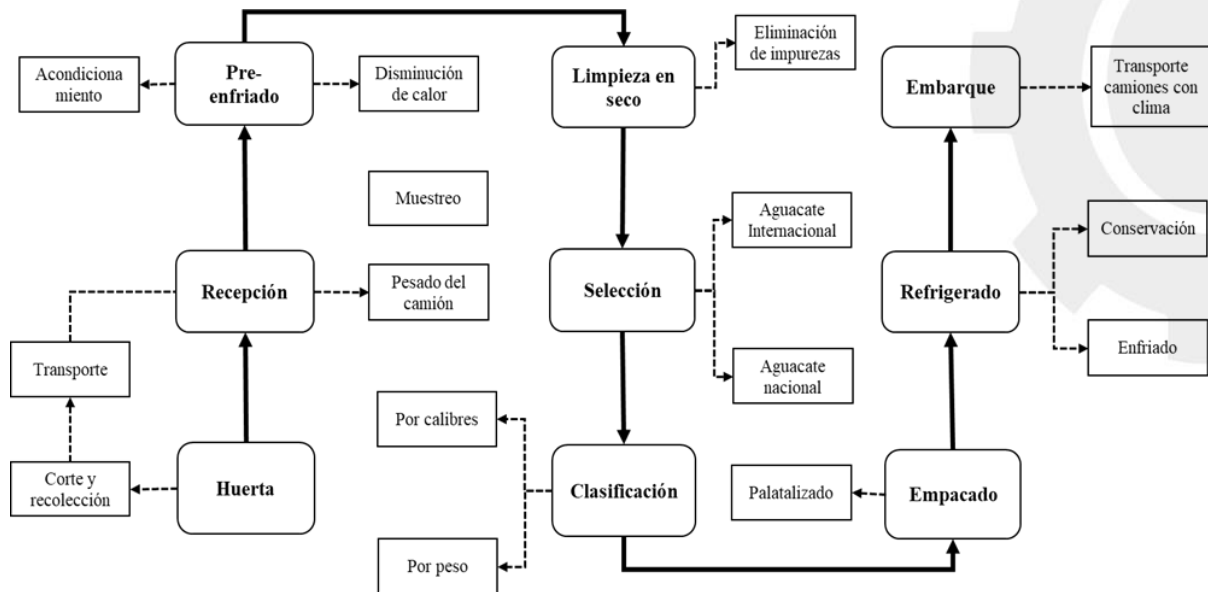
El aguacate, también conocido como *Persea Americana Mill*, es un miembro de la familia vegetal de las Lauráceas, la cual comprende poco más de 50 géneros entre los que se encuentra la denominada *Persea*, Sánchez (1999). Es un fruto nativo originario de México y el único importante desde el punto de vista económico de la familia de las Lauráceas, además, presenta un valor creciente en el mercado internacional, debido no sólo a las amplias posibilidades para el consumo fresco y procesado sino también a su carácter de materia prima para el procesamiento de otros derivados del fruto como el aceite, productos cosméticos, productos alimenticios, entre otros. Aguacate (2019). En cuanto a las generalidades del cultivo del fruto, la propagación se realiza mediante injertación sobre patrones criollos de la raza mexicana; el método de injertación es el de enchapado lateral. Sánchez (1994). Lo referente a su producción, la explotación a

nivel comercial del aguacate se practica en 16 Estados de México siendo Michoacán el principal productor. Datos consultados del Boletín Mensual del Aguacate, (SIAP-SADER, 2020) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, a través del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca, del reporte a febrero 2020, señalan que la superficie sembrada del ciclo 2020, fue de 241 mil 140 hectáreas, en tanto a la producción obtenida es de 206 mil 466 toneladas; 0.5% mayor en relación con la obtenida en el mismo periodo del año previo, reposicionando a Michoacán como líder productor indiscutible aportando el 94.6% (195, 366 toneladas) al total nacional, seguido de Jalisco con 4.7 %, ambas entidades concentrando el 99.4% de la producción del país. Asimismo, para el proceso de exportación, es esencial mantener la mejor calidad del aguacate y garantizar los más altos estándares de inocuidad a nivel nacional e internacional, es decir, las condiciones y prácticas que preserven su calidad para prevenir la contaminación y enfermedades transmitidas por su consumo. Así mismo es necesario obtener el sello México Calidad Suprema® (MCS), que garantiza a los productos nacionales que su producto cumple con los más altos estándares de calidad e inocuidad a nivel nacional e internacional. El sello no sólo califica la higiene y seguridad en los cultivos del aguacate mexicano, sino también integra los procesos de almacenamiento y estrategias de logística. Bosh (2018)

Principales esquemas para la exportación de aguacate a Estados Unidos

La cadena productiva del aguacate comprende diferentes eslabones que van desde el cultivo del fruto, procesamiento, empaque hasta su exportación, la figura 1 esquematiza las etapas para su exportación de manera general, estas etapas pueden variar si se trata de empaque para nacional o exportación, o si se trata de procesamiento para diferentes presentaciones, por ejemplo, el guacamole.

Figura 1. Proceso general para el empaque del aguacate.



Fuente: Suárez, Aguilar y Arévalo (2020)

En el caso del aguacate para exportación a Estados Unidos, es necesario el cumplimiento de una serie de requisitos solicitados por diferentes esquemas o certificaciones, entre los principales se encuentran los siguientes:

En lo referente a la exportación del aguacate, esto conlleva un estricto cumplimiento de requerimientos nacionales e internacionales. En tanto a la normativa mexicana, se debe cumplir lo siguiente:

-NOM-066-FITO-2002. Norma que especifica el manejo fitosanitario y movilización del aguacate.

-NOM-076-FITO-1999. Sistema preventivo y dispositivo nacional de emergencia contra las moscas exóticas de la fruta.

-NOM-128-SCFI-1998. Información Comercial-Etiquetado de productos agrícolas-Aguacate

-NOM-144-SEMARNAT-2004. Establece las medidas fitosanitarias reconocidas internacionalmente para el manejo de madera.

-Registro de Marca. El registro de una marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), éste último no es obligatorio sin embargo es recomendable para tener el derecho exclusivo del uso.

-Código de Barras. El código de barras tiene como objeto identificar cada producto a través de un lenguaje universal y común haciendo el proceso logístico más eficiente.

-Expedición del Certificado Fitosanitario Internacional por Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA).

-Certificado de Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) de la Secretaría de Salud (SSA): Certificado para Exportación Libre Venta, Certificado para Exportación de Conformidad de Buenas Prácticas Sanitarias y Certificado para la Exportación Análisis de Producto. CEDRSSA (2017). Entre otras certificaciones y/o esquemas los cuales son requeridos por lo países importadores del fruto como se explica en la tabla 1.

Tabla 1. Principales esquemas internacionales para la exportación del aguacate a Estados Unidos.

Esquema	Descripción
<i>Global GAP</i>	<i>Esquema para la inocuidad alimentaria de productos agrícolas frescos más utilizado en el mundo. Con la promulgación de la Ley de Modernización de la Inocuidad de los Alimentos (FSMA) se ha generado un gran interés en que la norma Global Gap se convierta en un instrumento para asegurar el cumplimiento de la Regla sobre la Seguridad de Productos de la FSMA. Global GAP proporciona una serie de “mejores prácticas” para la producción de frutas y hortalizas frescas (GLOBALG.A.P., 2017)</i>
<i>Fair Trade</i>	<i>Fairtrade International es un sistema de certificación que representa un negocio justo. “Se basa en un acuerdo entre los productores y consumidores con el objetivo de mejorar las vidas y reducir la pobreza mediante prácticas comerciales éticas”. ¿Qué es la Certificación de Comercio Justo y cómo funciona? (2021). Su</i>

objetivo es garantizar a los consumidores que el producto cumple con estándares sociales, económicos y medioambientales.

GFSI

Global Food Safety Initiative (GFSI) es una colaboración impulsada por la industria de minoristas, producción de alimentos, académicos y proveedores de servicios que se fundó en el año 2000. Su misión es proporcionar mejoras continuas en los sistemas de gestión de seguridad alimentaria a fin de garantizar la confianza en la entrega de alimentos inocuos y seguros a los consumidores en todo el mundo. Guía para conocer los esquemas de GFSI (2021).

HACCP

El sistema HACCP, Hazard Analysis and Critical Control Points, o análisis de peligros y puntos críticos, se basa en un sistema de ingeniería conocido como Análisis de Fallas, Modos y Efectos, donde en cada etapa del proceso, se observan los errores que pueden ocurrir, sus causas probables y sus efectos, para entonces establecer el mecanismo de control. (Organización Panamericana de la Salud, 2017)

CODEX

El Codex Alimentarius (que en latín significa ley o código de alimentos) es un compendio de normas alimentarias aceptadas internacionalmente y presentadas de modo uniforme. Contiene también códigos de prácticas, directrices y otras medidas recomendadas para ayudar a alcanzar los fines del Codex Alimentarius. CODEX ALIMENTARIUS (2005).

PRIMUSGFC

PrimusGFS es un esquema de auditorías que está homologado y completamente reconocido por GFSI (Iniciativa Global de Inocuidad Alimentaria) que cubre ambos Buenas Prácticas Agrícolas (GAP) y Buenas Prácticas de Manufactura (GMP), así como el Sistema de Administración de Inocuidad Alimentaria (FSMS). El esquema PrimusGFS cubre el alcance de la cadena de proveedores pre y post cosecha y provee un enfoque integrado a la cadena de proveedores. PrimusGFS (2014)

<i>SRRC</i>	<i>Sistemas de Reducción de Riesgos por Contaminación (SRRC). Son medidas y procedimientos para reducir los peligros de contaminación y garantizar las condiciones óptimas de producción y procesamiento. Para su cumplimiento, se han elaborado y publicado manuales de Buenas Prácticas, lineamientos y formatos que sirven a los productores como guía para implementar un Sistema de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2020).</i>
<i>BRC</i>	<i>British Retail Consortium, o Asociación de Minoristas Británicos. Se trata de un esquema cuyo objetivo es la salvaguarda de la seguridad alimentaria de los productos que encontramos en el mercado mediante el establecimiento de requisitos que garanticen la salubridad de los alimentos. (Normas ISO, 2018).</i>

Fuente: Elaboración propia a partir de revisión de literatura.

Certificación ISO 9001:2015 en las organizaciones

Un sistema de gestión de calidad es parte de un sistema de gestión relacionado con la calidad, según la norma ISO 9000:2015 en su cláusula 3.5.4, por lo que esta misma norma lo define como un conjunto de elementos de una organización interrelacionados o que interactúan para establecer políticas, objetivos y procesos para lograr estos objetivos. En este sentido, es muy importante que toda empresa cuente con un sistema de gestión establecido que le permita conocer las entradas y salidas de sus procesos, la interacción entre ellos, y la importancia de mantener un enfoque hacia la calidad de sus resultados. Por otra parte, es imprescindible que la organización conozca sobre el entorno que la rodea y los riesgos que conlleva este entorno para la operación de sus procesos. Por ello, hoy en día existen diferentes alternativas para las empresas que buscan un buen desempeño a través de procesos de calidad internos y externos, es decir, no basta sólo con que una empresa sea más productiva, sino que debe ser también más competitiva, es por ello que actualmente se tiene la opción de buscar empresas o casas certificadoras que acrediten el cumplimiento de requisitos que

garantizan ese correcto desempeño, tal es el caso de las certificaciones en ISO 9000, donde se encuentra el esquema de la norma ISO 9001:2015, que comprende un sistema de gestión de calidad el cual puede ser implementado por empresas de todo giro.

Una de las ventajas de la última versión de esta norma es su fácil aplicación dado por la reducción de requisitos documentales que la anterior versión exigía, por lo que “desde hace varios años comenzó a notarse una tendencia creciente hacia la certificación” Pérez (2015), haciendo referencia a que cada vez son más las empresas que realmente descubren el valor agregado de una certificación ya que hay muchos requisitos de la norma que son obligatorios y otros que simplemente dan una ventaja competitiva. Por otra parte, Murguía (2018) afirma que la tendencia en el aumento de las certificaciones no es un tema menor ya que: “La emisión de constancias, dictámenes o certificados que avalan el cumplimiento con normas, requiere una gran actividad en el diseño de las regulaciones, las especificaciones o los estándares que son la base para hacer las comparaciones, pruebas o validaciones correspondientes que permitan, precisamente, generar el certificado, constancia o dictamen solicitado”, por lo que empresas, servicios, productos o personas que ostentan una certificación tienen un valor adicional, ya que ésta es un aval de seguridad y confianza para quienes los consumen o contratan, Pérez (2015), así mismo, Bonales, Martínez y Valenzo (2015) mencionan que el sector aguacatero del Estado de Michoacán, obtienen mejores resultados económicos que aquellas otras empresas del sector debido a que se comparten recursos y capacidades, las cuales se fundamentan, principalmente en la mejora de la calidad, el precio de la venta como consecuencia de sus costos operativos, innovación tecnológica y capacitación y formación, entre otros, lo que permite señalar que el enfoque hacia la calidad es hoy en día un aspecto fundamental para las organizaciones.

Gestión estratégica basada en Kaplan y Norton

Robert S. Kaplan y David P. Norton, autores del libro Cuadro de Mando Integral (Balance Score Card), propusieron un sistema de gestión mediante un Cuadro de Mando Integral (CMI) que integra objetivos relacionados entre sí de tal forma que

permite a los directivos de las organizaciones, trabajar de forma holística y generar planes de acción estratégicos para el logro de los objetivos organizacionales.

El CMI enfatiza la conversión de visión y estrategia de la empresa en objetivos e indicadores, para ello, considera el vislumbrar a la organización desde cuatro perspectivas: actuación financiera, conocimiento del cliente, procesos internos y formación y conocimiento, mediante las cuales, puede conocerse el desempeño global de la organización. Actualmente el CMI es una herramienta que permite guiar a la organización hacia una planeación a largo plazo y es utilizada también, como referente para otros sistemas de gestión como la norma ISO 9000, así mismo, otros autores como Ibarra, González y Demuner (2017), analizaron los niveles de competitividad de las empresas manufactureras de Baja California, México mediante diversas dimensiones como la planeación estratégica, producción y operaciones, aseguramiento de calidad, comercialización, contabilidad y finanzas, recursos humanos, gestión ambiental y sistemas de información obteniendo entre sus resultados, que en dicho sector las empresas carecen de una visión empresarial que utilicen como punto de partida para lograr la competitividad.

III. Métodos

Tipo de investigación

Se realizó un estudio de tipo diagnóstico - descriptivo en el cual se determinó, mediante un enfoque cualitativo, el nivel de implementación de procesos con enfoque en la calidad, a través de la aplicación del cuestionario diagnóstico de la figura 1, basado en aspectos de planeación, seguimiento y mejora de procesos de la norma ISO 9001:2015, los principales criterios y protocolos para la exportación de aguacate y las bases teóricas de Kaplan y Norton (2002), en sus perspectiva procesos internos, donde se incluye la calidad .

Objetivo

El objetivo de la investigación es determinar y describir el nivel de implementación de procesos enfocados a la calidad en las empresas que

exportan aguacate a Estados Unidos ubicadas en la localidad de Uruapan, Michoacán, México.

Pregunta general de investigación

¿Cuál es el nivel de cumplimiento de los criterios de evaluación de los procesos enfocados a la calidad en el sector empresarial aguacatero de la localidad de Uruapan Michoacán?

Hipótesis

El establecimiento y formalización de los procesos relacionados a la calidad, permitirá identificar y describir el nivel de estandarización de los mismos en las empresas exportadoras de aguacate de la localidad de Uruapan, Michoacán.

Muestreo para el estudio

El tipo de muestreo corresponde al no probabilístico tipo intencional o de conveniencia para lo cual se basó en la información proporcionada por la asociación APEAM A. C.¹, ya que un requisito para exportar aguacate a Estados Unidos es pertenecer al padrón de socios afiliados a dicha institución.

Por lo que a continuación se muestra en la tabla 2, el listado de empresas exportadoras de aguacate (que incluyen exportación a Estados Unidos) obtenido del listado obtenido del portal oficial de APEAM, ubicadas en Uruapan, Michoacán, de las que las más representativas por el volumen de exportación que manejan y su trayectoria en el sector aguacateros de la zona resultaron ser ocho empresas, las cuales fueron tomadas como muestra para la investigación.

Tabla 2. Listado de empresas exportadoras de aguacate a Estados Unidos y ubicadas en Uruapan.

No.	NOMBRE DE LA EMPRESA	No.	NOMBRE DE LA EMPRESA
1	EMPACADORA DE AGUACATES SAN LORENZO, S.A. DE C.V.	16	MISSION DE MÉXICO, S.A. DE C.V.

¹ Asociación de Productoras y Empacadoras de Aguacate de Michoacán (APEAM)
Tecnología, Ciencia y Estudios Organizacionales-TeCEO 3(1), 2021
ISSN 2549-1410

2	EMPACADORA AVEHASS, S.A. DE C.V.	17	PROMOTORA MEXICANA GAITÁN, S.A. DE C.V.
3	EMPACADORA MORIBITO DE MÉXICO, S. DE R.L.	18	RAMÓN VALENCIA ESPINOSA
4	AVOPERLA, S.A. DE C.V.	19	SAN TADEO Y SOCIOS, S.P.R. DE R.L.
5	GRUPO WEST PAK DE MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.	20	BRANDON ´S FRESH, S. de R.L. de C.V.
6	CALAVO DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	21	AZTECAVO, S.A.P.I. DE C.V.
7	AGRIFRUT, S.A. DE C.V.	22	COMERCIALIZADORA GLOBAL FRUT, S. DE R.L. DE C.V.
8	AGROEXPORT INTERNACIONAL, S.A. DE C.V.	23	AVOCALI, S. DE R.L. DE C.V.
9	AGUACATES LA BONANZA, S.A. DE C.V.	24	EMPACADORA EL DURAZNO, S.A. DE C.V. Y/O AGUACATES CHAHENA Y MAS, S. DE R.L. DE C.V.
10	AVOCADO EXPORT COMPANY, S.A. DE C.V.	25	EMPACADORA AVOHASS, S.A. DE C.V.
11	AZTECAVO, S.A.P.I. DE C.V.	26	J & E PRODUCE MÉXICO, S.A. DE C.V.
12	BEST PRODUCE, S. DE R.L. DE C.V.	27	AVOCOMERCAM, S.A.P.I. DE C.V.
13	FRESH DIRECTIONS MEXICANA, S.A. DE C.V.	28	HASS TAG, S. DE R.L. DE C.V.
14	FRUTÍCOLA VELO Y/O CORPORATIVO PUREPECHA, S.A. DE C.V.	29	DEL MONTE GRUPO COMERCIAL, S.A. DE C.V.
15	FRUTIVAL, S.A. DE C.V.	30	AVOMICH CLARITA, S. DE R.L. DE C.V.

Fuente: Información extraída del Directorio de Empacadoras de Aguacate, mercado nacional y exportación.
APEAM (2020)²

Así mismo, cabe señalar que de acuerdo al muestreo por conveniencia donde se estudiaron ocho empresas, por motivos de conveniencia a sus intereses y confidencialidad de la información, se reservan los nombres de las mismas a petición de las participantes en el estudio.

² Directorio de Empresas Empacadoras de Aguacate Mercado Nacional y Exportación. Disponible en <http://www.apeamac.com/empresas-empacadoras-exportadoras-de-aguacate-hass/>
Tecnología, Ciencia y Estudios Organizacionales-TeCEO 3(1), 2021
ISSN 2549-1410

III.6 Diagnóstico sobre el nivel de implementación de procesos estandarizados con enfoque en la calidad del producto

Cuestionario diagnóstico

Se aplicó un cuestionario diagnóstico a las ocho principales empresas de la localidad, el cual fue contestado según sus reportes del periodo comprendido entre 2019–2020. El cuestionario aplicado se muestra en la Figura 1.

Figura 2. Cuestionario diagnóstico aplicado a las empresas bajo estudio

Diagnóstico para determinar el nivel de implementación de procesos estandarizados con enfoque hacia la calidad en las empresas exportadoras de aguacate de la localidad de Uruapan, Michoacán				
El presente estudio tiene como objetivo diagnosticar el nivel de implementación de procesos estandarizados con enfoque hacia la calidad. La información generada es para fines académicos y se integrará de forma general de las empresas analizadas cuidando mantener el anonimato.				
NOMBRE DE LA EMPRESA: Empresa exportadora de aguacate a Estados Unidos de la localidad de Uruapan				
Instrucciones: Coloca una "x", de acuerdo al nivel de evaluación según la "Criterios de evaluación procesos con enfoque en la calidad"				
Dimensión	Criterio	Escala de medición		
		Bajo	Medio	Alto
CALIDAD	Estándares de calidad			
	Resolución de no conformidades			
	Satisfacción del cliente.			
	Control total de la calidad, técnicas avanzadas para el control de la calidad, mejora continua, planeación estratégica.			
	Certificaciones externas			
	Observaciones:			

Fuente: Elaboración propia basado en revisión de literatura

Como parte del cuestionario diagnóstico, se elaboró una matriz de evaluación (ver figura 2), basada en Kaplan y Norton (2002), quienes en su Cuadro de Mando Integral (CMI), plantean un sistema administrativo que va más allá de la perspectiva financiera en el que es necesario considerar como estrategia para la ventaja competitiva para la organización, cuatro perspectivas: a) Aprendizaje y crecimiento, b) Procesos internos (en el que se incluye la calidad), c) Procesos enfocados al cliente y c) perspectiva financiera. En la perspectiva procesos

internos Kaplan y Norton señalan que los directivos de una empresa deben identificar los procesos críticos en los que deben sobresalir con excelencia, enfatizan en que las demandas de los procesos internos deben atender a las necesidades y expectativas de los clientes y que los procesos operativos deben identificar características de costo, calidad, tiempo y actuación que permita entregar productos y servicios superiores a los clientes existentes.

El modelo de gestión de la norma ISO 9001:2015 señala que una organización debe mantener una adecuada gestión de la calidad en sus procesos - apartado 4.4, objetivos de calidad y planificación para lograrlos - apartado 6.2, seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño de sus procesos - apartado 9.1 y procesos para la mejora continua - apartado 10.3.

Así mismo, la Plataforma Tecnológica para la Gestión de la Excelencia ISOTools, refiere que los fundamentos de Norton y Kaplan son un modelo único en la gestión de la estrategia. Norton y Kaplan: dos referentes para un modelo único en la gestión de la estrategia (2015).

Figura 3. Criterios de evaluación procesos con enfoque en la calidad.

Criterios evaluación procesos con enfoque en la calidad		
Bajo	Medio	Alto
Se realizan pocos o nulos esfuerzos por llevar actividades orientadas al cumplimiento de objetivos o metas así como procesos definidos y/o documentados.	Se realizan actividades orientadas a cumplir los objetivos y metas sin embargo, se requiere planeación estratégica para lograrlos.	Se tienen indicadores y estrategias para lograr objetivos considerando los riesgos del contexto de la organización.
	Se tienen sistemas de calidad - se tienen algunos procesos documentados.	Se tienen sistemas de calidad - documentación de procesos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de gestión de calidad e inocuidad.
		Mecanismos efectivos para el control y seguimiento del desempeño de los procesos.
		Se tienen procesos documentados que fomenten la mejora continua.

Fuente: Elaboración propia a partir de revisión de literatura.

Se aplicó un tipo de muestreo por conveniencia dirigido a un sector empresarial específico y predominante de la ciudad de Uruapan, en el que las empresas comparten características comunes (las requeridas para formar parte de la Asociación APEAM):

- Cumplir con los protocolos de exportación del Plan de Trabajo para Exportación de Aguacate Hass de México a Estados Unidos de América.
- Vigilar que el transporte cumpla con las reglas de sanidad
- Estar certificadas en Buenas Prácticas de Manufactura,
- Sólo comprar aguacates a productores asociados a APEAM, A. C.
- Vigilar que su cuadrilla de corte se presente limpia y certificada en Buenas Prácticas de Cosecha y etiqueta correctamente las cajas para su exportación.

Los resultados del cuestionario de la figura 1, se presentan en la tabla 3 en la sección de resultados.

IV. Resultados

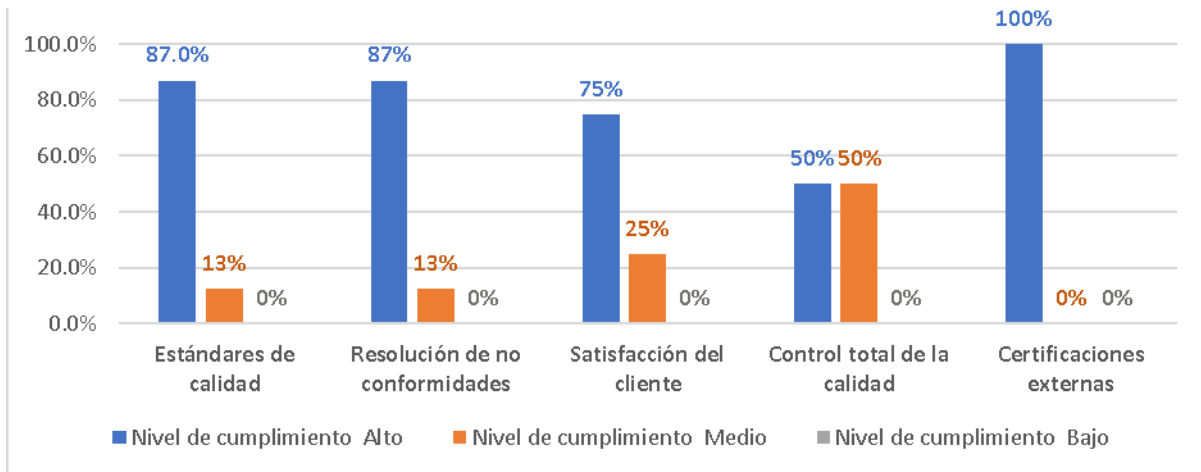
Los resultados obtenidos del cuestionario diagnóstico fueron concentrados en la tabla 3, y graficados en la figura 4, donde se aprecia que el 80% de las empresas mantienen un nivel alto de estandarización mientras que el 20% restante mantiene un nivel medio, así mismo, en la figura 3 se presentan los niveles logrados de cumplimiento por criterio de evaluación, donde los criterios estándares de calidad y resolución de no conformidades, el 87% de empresas alcanzaron un nivel alto mientras que el 13% restante obtuvo un nivel medio, el criterio satisfacción del cliente, un 75% obtuvo un nivel alto y el 25% un nivel medio, en cuanto al criterio control total de calidad, 50% de empresas mantuvo un nivel alto y otro 50% un nivel medio y finalmente el criterio certificaciones externas el 100% de empresas cumplió en un nivel alto, cabe señalar que, como parte de la investigación en campo, se identificó que las empresas si mantienen, como parte de sus sistemas de gestión, documentación de procesos de calidad e inocuidad, así como mecanismos necesarios para el control, seguimiento y desempeño de los mismos, sin embargo, se detectó como área de oportunidad, las técnicas avanzadas de control de calidad, mejora continua y planeación estratégica que les permita mantener y mejorar indicadores de desempeño de los procesos relacionados a la calidad.

Tabla 3. Concentrado de las evaluaciones a las empresas

Diagnóstico para determinar el nivel de implementación de procesos estandarizados con enfoque hacia la calidad en las empresas exportadoras de aguacate de la localidad de Uruapan Michoacán					
El presente estudio tiene como objetivo diagnosticar el nivel de implementación de procesos estandarizados con enfoque hacia la calidad. La información generada es para fines académicos y se integrará de forma general de las empresas analizadas cuidando mantener el anonimato.					
NOMBRE DE LA EMPRESA: Empresa exportadora de aguacate a Estados Unidos de la localidad de Uruapan					
Instrucciones: Coloca una "x", de acuerdo al nivel de evaluación según la "Criterios de evaluación procesos con enfoque en la calidad"					
Dimensión	Criterio de evaluación	Empresas	Escala de medición		
			Bajo	Medio	Alto
Calidad	Estándares de calidad (Procedimientos, instructivos de trabajo)	E1			x
		E2			x
		E3		x	
		E4			x
		E5			x
		E6			x
		E7			x
		E8			x
	Resolución de no conformidades	E1			x
		E2			x
		E3		x	
		E4			x
		E5			x
		E6			x
		E7			x
		E8			x
	Satisfacción del cliente	E1			x
		E2			x
		E3		x	
		E4			x
		E5			x
		E6			x
		E7			x
		E8		x	
	Control total de la calidad, técnicas avanzadas para el control de la calidad, mejora continua, planeación estratégica.	E1			x
		E2			x
		E3			x
		E4		x	
		E5			x
		E6		x	
		E7		x	
		E8		x	
Certificaciones externas	E1			x	
	E2			x	
	E3			x	
	E4			x	
	E5			x	
	E6			x	
	E7			x	
	E8			x	

Fuente: Elaboración propia a partir de investigación en campo

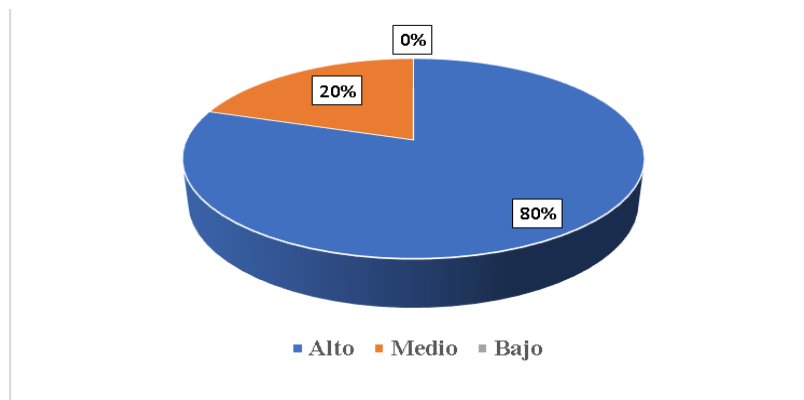
Figura 4. Porcentaje de empresas evaluadas con criterio de cumplimiento logrado



Fuente: Propia. Elaborado en Microsoft Excel.

Otro hallazgo del estudio es que los sistemas de calidad y/o certificaciones con que cuentan las empresas, se aplican principalmente a procesos operativos, por lo que se considera que para lograr un mayor porcentaje de empresas con nivel alto en los criterios estándares de calidad, resolución de no conformidades, satisfacción del cliente y control total de la calidad, es necesario que se impulse la planeación estratégica tomando en consideración los riesgos del contexto de la organización en miras de tener planes alternos de acción que garanticen el cumplimiento de los objetivos organizacionales.

Figura 5. Nivel de cumplimiento global



Fuente: Elaboración propia utilizando Microsoft Excel.

Finalmente, de acuerdo a la figura 4 que muestra el nivel de cumplimiento global donde el 80% de las empresas mantiene un nivel alto, se concluye que, en el sector empresarial aguacatero bajo estudio, es necesario impulsar técnicas científicas para mejorar las características de calidad del fruto y que éste pueda soportar viajes largos durante sus traslados a otros países, así como el implementar y mantener técnicas avanzadas de control de calidad, mejora continua y planeación estratégica de forma estandarizada.

V. Discusión

Mediante los resultados del estudio se puede identificar que las empresas mantienen un nivel alto de estandarización de procesos enfocados a la calidad, principalmente en lo referente al cumplimiento de requisitos que tiene que ver con las certificaciones externas (ver figura 3), esto se atribuye, de acuerdo a la investigación en campo, a que esas certificaciones son requisitos obligatorios para exportación, en este caso a Estados Unidos, por lo que se considera que si aunado al cumplimiento de éstos requisitos, se impulsa la mejora continua y se vinculan y alinean indicadores productivos y administrativos a una visión empresarial mediante planeación estratégica como lo plantean Kaplan y Norton (2002) en su cuadro de mando integral, esto coadyuvaría en impulsar a las empresas de la agroindustria del aguacate a una mejor posición competitiva internacional.

VI. Referencias

Aguacate (2019). Enciclopedia Colaborativa en la Red Cubana EcuRed. Consultado el 07 de agosto de 2021 en <https://www.ecured.cu/index.php?title=Aguacate&oldid=3553193>.

Asociación de Productores Empacadores y Exportadores de Aguacate (APEAM A. C.)
Sitio Electrónico Oficial: <http://www.apeamac.com/que-es-apeam>

Bonales, V., Martínez A. J. y Vlenzo J. Alejo (2015) Modelo competitivo de Clúster en empresas exportadoras de Michoacán. Red Internacional en competitividad. Memoria de IX Congreso. ISBN 978-607-96203-0-4.

Bosh, L. (2018). Requisitos para exportar aguacate mexicano. Dripcapital-mexico. Financiamiento internacional y factoraje de exportación para pymes. Portal Digital en: <https://medium.com/dripcapital-mexico/requisitos-para-exportar-aguacate-mexicano-32885c03e497>

CODEX ALIMENTARIOUS (2005). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación Orgánica Mundial de la Salud, Roma 2005. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a0369s/a0369s.pdf>

CEDRSSA (2017). Reporte Caso de Exportación: El Aguacate. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). Palacio Legislativo de San Lázaro. Disponible en: <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/54Exportaci%C3%B3n%20aguacate.pdf>

GLOBALG.A.P. (2017). Guía para Usuarios y Autoevaluación para el cumplimiento de la Regla sobre Seguridad de Productos de la FSMA. En: <https://www.globalgap.org/permalink/9bbc82f0-98d8-11e7-98d5-6805ca037347.pdf>

Guía para conocer los esquemas de GFSI (2021). Consultado en 12 de julio 2021 en:

<https://www.aibinternational.com/es/Certificaci%C3%B3n/Las-ventajas-de-certificarse-con-AIB-International/Gu%C3%ADa-para-conocer-los-esquemas-de-GFSI>

Ibarra, M., González, L. y Demuner, M. (2017). Competitividad empresarial de las pequeñas y medianas empresas manufactureras de Baja California. Estudios Fronterizos, 18(35), 107-130, doi:10.21670/ref.2017.35.a06

Kaplan, R. y Norton, D. (2002). El Cuadro de Mando Integral. HARVARD BUSINESS SCHOOL PRESS. Segunda Edición. (50-56). Consultado en 13 de julio 2021 en: <https://www.freelibros.me/>

Murguía, M. (2018) "Certificación, una tendencia que crece". Forbes México. Revista Digital. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/certificacion-una-tendencia-que-crece/>

Norma ISO 9001:2015. Sistemas de Gestión de la Calidad – Requisitos. ISO, Online Browsing Platform (OBP). En: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>

Norton y Kaplan: dos referentes para un modelo único en la gestión de la estrategia (2015). Consultado el 13 de julio 2021 en: <https://www.isotools.org/2015/07/25/norton-y-kaplan-dos-referentes-para-un-modelo-unico-gestion-estrategia/>

Organización Panamericana de la Salud. (2017). ANÁLISIS DE PELIGROS Y PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL (HACCP) . Washington, D.C.: The Pan American Health Organization (PAHO). En: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2017/food-safety-hacpp-cha-analisis-peligros-puntos-criticos-control.pdf>

PrimusGFS (2014). Santa Maria: Azzule Systems. En: <https://azzule.com/clients/>

Pérez, M. (2015). Certificación: Una tendencia que crece. Forbes México. Consultado el 11 de agosto de 2021 en: <https://www.forbes.com.mx/certificacion-una-tendencia-que-crece/>

¿Qué es la Certificación de Comercio Justo y cómo funciona? (2021). Consultado el 12 de julio 2021. En: <https://connectamericas.com/es/content/%C2%BFqu%C3%A9-es-la-certificaci%C3%B3n-de-comercio-justo-y-c%C3%B3mo-funciona>

SIAP-SADER (2020). Producción de Aguacate. Boletín Mensual SIAP-SADER, enero 2020. InfoRural. Espacio digital abierto, disponible en: <https://www.inforural.com.mx/produccion-de-aguacate-5/>

Sánchez, C. (1994) Situación actual del cultivo del aguacate en México. California Avocados Society. Nueva York. Sánchez Colin Foundation, CICTAMEX, S.C.

Sánchez, P. (1999). Recursos genéticos de aguacate (Persea americana Mill.) y especies afines en México. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 7-18. INIFAP, campo experimental Uruapan, Michoacán, México.

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2020). Medidas y procedimientos para reducir los peligros de contaminación y garantizar las condiciones óptimas de producción y procesamiento. En: <https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/sistemas-de-reduccion-de-riesgos-de-contaminacion>

Suárez, B., Aguilar, G. y Arévalo, F. (2020). Gestión de los sistemas de calidad en la agroindustria del estado de Michoacán: análisis para la inclusión de procesos

Lean mediante la metodología DMAIC. Aletheia Revista IEU Universidad. (7), 1-19. En: https://revista-aletheia.ieu.edu.mx/documentos/revistaVol_7/revistaVol7_Art1.pdf



Evaluación del modelo meteorológico WRF para la validación del modelo AERMOD

**O. O. Mendoza-Lara¹, V. Arévalo-Mendoza¹, C. G. Villareal-Esquivel¹, A. Pérez-Castillo¹
y ²A. Morales-González**

¹Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil y Ciencias de la Tierra, Comisión Federal de Electricidad, Av. Santa Cecilia 211-B, C.P. 54120, Tlalnepantla, Edo. de México.

²Gerencia de Protección Ambiental, CFE, Anillo Periférico 4156, C.P. 01900, Ciudad de México.

*e-mail: osiel.mendoza@cfe.mx

Resumen

En el presente trabajo se evalúa la sensibilidad de la base de datos meteorológicos generadas por el sistema de modelización meteorológico WRF, extrayendo los valores representativos para un sitio empleando el modelo MMIF. La estación meteorológica seleccionada de referencia (Villa de las Flores) es administrada por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, y está ubicada en el municipio de Coacalco.

Para determinar la sensibilidad se analizó cualitativamente el comportamiento de los datos en una serie de tiempo a diferentes escalas, mientras que el análisis cuantitativo se efectuó utilizando los siguientes estadísticos: el error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio normalizado (NMAE) (NMB), el sesgo (BIAS), coeficiente de correlación de Pearson (r) y el índice de ajuste (IOA).

Se evaluó la temperatura, la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento, dando como resultado que las tres primeras variables tienen un índice bueno de concordancia. No obstante, hubo diferencias cualitativas, pero no significativas en la dirección de viento, se infiere que puede ser producto de la escala utilizada en la modelización en el WRF.

Palabras Clave: AERMET, sensibilidad, meteorología, estadística, contaminación.

Abstract

This work evaluates the sensitivity of the weather database generated by the WRF weather modeling system, extracting the representative values for a site using the MMIF model.

The selected reference weather station (Villa de las Flores) is managed by the Atmospheric Monitoring System of Mexico City, and is in the municipality of Coacalco. For the determination of sensitivity, the behavior of the data was qualitatively analyzed at different scales, while quantitative analysis was performed using the following statistics: mean quadratic error (RMSE), normalized mean absolute error (NMAE), bias (BIAS), Pearson correlation coefficient (r), and adjustment index (IOA).

Temperature, relative humidity, wind speed and direction were evaluated, resulting in the first three variables having a good concordance index. However, there were qualitative differences, but not significant in wind direction, it is inferred that it may be a product of the scale used in modeling in the WRF.

Keywords: AERMET, sensitivity, meteorology, statistics, pollution.

I. Introducción

El crecimiento de las zonas urbanas y el desarrollo de las actividades humanas han propiciado un mayor incremento económico y mejoras en aspectos sociales (González-Rocha, et al.). Sin embargo, la urbanización ha traído múltiples problemas; entre ellos, la contaminación del aire, cuyas consecuencias están empezando a ser reconocidas (Baldasano et al., 2003). En este sentido, una herramienta que resulta imprescindible para los estudios de contaminación atmosférica es el modelado matemático, al igual que en otras disciplinas, tiene como objetivo el analizar y estudiar los procesos implicados y su comportamiento (CIEMAT, 2015).

Los Modelos de la Calidad del Aire (MCA) se pueden clasificar de acuerdo con diferentes criterios, por ejemplo, la escala espacial o el planteamiento de la ecuación con la que trabaja el sistema de modelización atmosférica. La información de entrada para los MCA incluye variables tales como, tasas de

emisión de contaminantes, condiciones de frontera (concentración de fondo), y variables meteorológicas, en particular la velocidad y dirección del viento, turbulencia, temperatura, presión, capa límite planetaria, humedad relativa, nubosidad y radiación solar (Seigneur & Dennis, 2011).

Como ya se mencionó, la meteorología es una parte fundamental en los estudios de dispersión de emisiones a la atmósfera, debido a que las variables meteorológicas utilizadas en los MCA tienen efecto sobre la concentración de contaminantes en los sitios receptores de interés (EPA, 2016). Los datos meteorológicos de superficie y en la vertical pueden ser tomados de estaciones cercanas al sitio, sin embargo, en mucho de los escenarios estas estaciones se encuentran a distancias significativas de donde se pretende modelar, por esta razón, los datos no son representativos en la zona de estudio.

Hasta el momento, no se ha desarrollado ningún protocolo de evaluación para estos modelos, siendo una tarea pendiente y necesaria. La mayoría de los estudios científicos se decantan por una evaluación de los resultados cualitativos (Jorba Casellas, 2005).

II. Marco teórico

Modelo meteorológico

El modelo Weather Research and Forecasting (WRF) es un sistema numérico de predicción meteorológica de mesoescala de última generación diseñado tanto para investigación atmosférica como para aplicaciones de pronóstico operativo. Este modelo es útil para obtener los parámetros meteorológicos requeridos para los modelos de calidad del aire (Kesarkar et al., 2007).

El sistema WRF es un esfuerzo de múltiples agencias de investigación, principalmente entre el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR), la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP) y el Laboratorio de Sistemas de Pronóstico (FSL), la Agencia Meteorológica de la Fuerza Aérea (AFWA), el Laboratorio de Investigación Naval, la Universidad de Oklahoma y la Administración Federal de Aviación (FAA), (Afzali et al., 2017).

AERMET-AERMOD

La Sociedad Meteorológica Americana (AMS) y La Agencia de Medio Ambiente de Estados Unidos de América (EPA) desarrolló el modelo de calidad del aire a escala local AERMOD en 1991 (Kumar et al., 2016). AERMOD es un modelo de dispersión Gaussiano el cual incorpora algoritmos del efecto de lavado de los edificios, depósito, efectos locales de terrenos y un avanzado cálculo de turbulencia (Kalhor & Bajoghli, 2017).

Es importante señalar que AERMOD puede implementar información meteorológica en la vertical real y estimada (EPA, 2004). Uno de los objetivos del modelo era implementar los conceptos actuales de capa límite planetaria (PBL) en un modelo de dispersión regulatorio.

El modelo utiliza datos generados por el uso de dos preprocesadores, AERMET y AERMAP. El primero se ocupa de los parámetros meteorológicos, mientras que el segundo se ocupa de los datos del terreno utilizando un modelo digital de elevación (DEM).

Los datos meteorológicos por hora se alimentan en AERMET para proporcionar parámetros meteorológicos de capa límite en el formato correcto para AERMOD. Estos datos de entrada para el preprocesamiento en AERMET pueden observarse o simularse utilizando un modelo meteorológico; esta elección puede hacerse según el objetivo del estudio y la disponibilidad de datos.

Acoplamiento WRF-AERMET

Para acoplar los resultados de las modelaciones de WRF a AERMET-AERMOD, se utiliza el software Mesoscale Model Interface (MMIF) desarrollado por la EPA. El MMIF puede generar resultados en múltiples puntos de la cuadrícula, sin embargo, AERMET-AERMOD utiliza datos de una sola celda de la cuadrícula que debería ser representativa de todo el dominio (EPA, 2015).

III. Método

Las etapas del método se resumen de la siguiente manera: 1) selección del sitio para analizar la meteorología observada, 2) identificar y descargar la base de datos por lo menos de una estación que mida como mínimo temperatura,

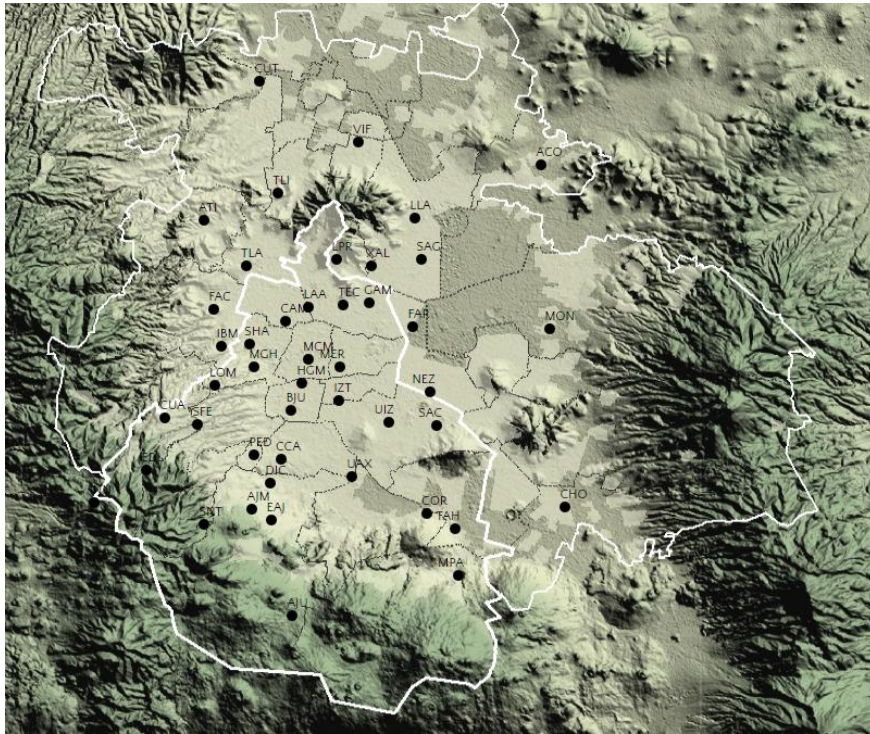
humedad relativa, velocidad y dirección del viento, 3) modelar la meteorología del dominio seleccionado con WRF, y generar mediante el modelo MMIF los datos meteorológicos del sitio, 4) analizar cualitativamente y cuantitativamente el comportamiento de los datos observados y modelados, para determinar la correlación y la concordancia entre ellos.

Selección del sitio

Como primer paso, se identificó una ciudad que contara con una red de monitoreo meteorológico. Para el presente estudio, se optó por seleccionar la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), debido a que el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la Ciudad de México (CDMX) cuenta con 28 estaciones distribuidas en las alcaldías de esta ciudad, y en la Zona Conurbada del estado de México (Figura 1).



Figura 1.- Estaciones de monitoreo meteorológicas de SIMAT



Fuente: Elaboración propia.

Para la elección de la estación meteorológica de la red, se asignó un número a cada estación y por medio de MatLab®, se procesó el comando números aleatorios distribuidos uniformemente, dando como resultado la estación Villa de las Flores, ubicada en el municipio de Coacalco, estado de México. Las coordenadas de referencia de la estación son 489,874 m al Este y 2,173,663 m al Norte, en la zona 14 Q.

Meteorología observada

Para descargar la base de datos de la estación Villa de las Flores, se procedió a utilizar información alojada en el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la CDMX (SIMAT, 2021). En este reservorio se encuentran los datos medidos de la red desde 1986 de las estaciones meteorológicas, y pueden descargarse en diferentes formatos (CSV, XML y JSON).

Los archivos contienen algunas variables meteorológicas medidas en sitio; la dirección [°] y velocidad del viento [m/s], humedad relativa [RH] y temperatura [°C]. De acuerdo con el SIMAT, los valores reportados están validados, sin embargo, se aplicó el criterio de suficiencia del 75%, que de acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012), se debe de cumplir este mínimo porcentaje para ser considerado como una base de datos validada. Por último, se escogió el año más completo y reciente, descartando el año 2020 debido a que se considera un año atípico.

Meteorología modelada

Las variables contempladas en la modelación de la meteorología en superficie fueron las siguientes: flujo de calor sensible [W/m²], velocidad de fricción de la superficie [m/s], rugosidad de la superficie [m], velocidad conectiva [m/s], altura de capa límite planetaria conectiva y mecánica [m], longitud de Monin-Obukhov [m], radio de Bowen, Albedo, temperatura superficial [K], velocidad [m/s] y dirección de viento [°], precipitación [mm], humedad relativa [%], presión superficial [mb] y cobertura de nubes.

Mientras que en la vertical (175, 206.2, 250, 300, 350, 400, 512.5, 600, 700, 800, 900, 1100, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000 metros), fueron las siguientes: velocidad [m/s] y dirección de viento [°], temperatura superficial [K] y desviaciones estándar de velocidad y dirección del viento. En este sentido, los parámetros utilizados en la modelación meteorológica se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Parámetros utilizados en la modelación meteorológica.

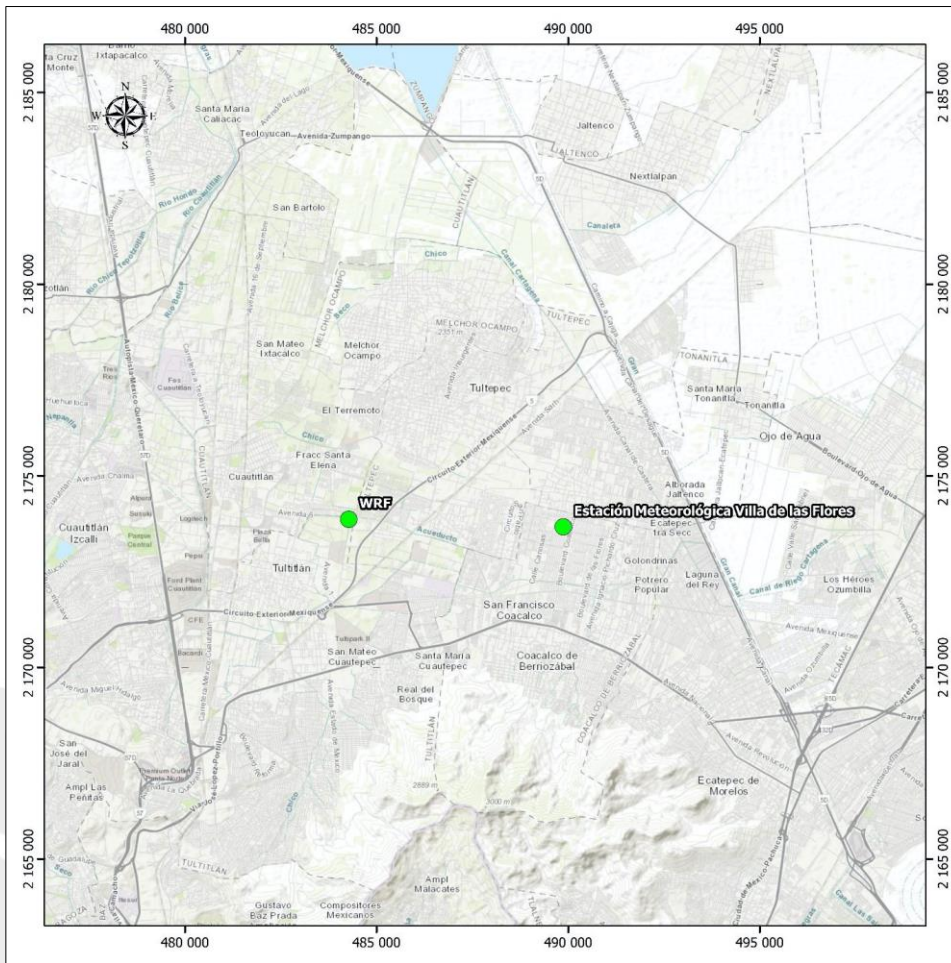
Tema	Parámetro
Sistema de modelación meteorológico	WRF
Resolución	12 km
Zona de estudio	50 km x 50 km
Período	31 de diciembre de 2018 al 1 de enero de 2020 (2019)

Base de datos	NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) 6-hourly Products. ds094.0 (NCEP, 2020) (Saha et al., 2011)
Coordenadas de referencia	484 275 m E, 2 173 864 m N

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2 se presenta la ubicación de las coordenadas de referencias con respecto a la estación meteorológica de Villa de las Flores (VIF) y del sitio utilizado para el sistema WRF.

Figura 2.- Ubicación de la estación meteorológica con respecto al sitio utilizado para el sistema WRF



Evaluación de sensibilidad

A pesar de que no existe una metodología para la evaluación de la sensibilidad de los datos meteorológicos, se proponen las siguientes cuatro etapas: disponibilidad de datos, limpieza de los datos, verificación del criterio de suficiencia de datos y determinación de las características fundamentales de los

datos. Para esta última, es necesario conocer el comportamiento de los variables, así como la aplicación de estadísticos para su validación.

Para analizar cualitativamente los datos meteorológicos, es conveniente utilizar gráficas de series de tiempo comparándolas con los datos observados, esto con el fin de identificar el comportamiento a través del tiempo. En el presente estudio se propone analizar datos horarios por días de la semana, comportamiento de los datos por hora y comportamiento mensual. Para la dirección del viento, se plantea usar rosas de viento por estación, esto con el fin determinar las direcciones predominantes de cada base de datos.

Por otra parte, para el análisis cuantitativo, se ha optado por utilizar el error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio normalizado (NMAE), el sesgo (BIAS), coeficiente de correlación de Pearson (r) y el índice de ajuste (IOA).

El RMSE nos da la medida del promedio de las diferencias entre los valores pronosticados y los observados, aportando información sobre la precisión del modelo, y se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\phi_i - \phi_{iobs})^2}{N}}$$

donde

ϕ_i = es el valor pronosticado

ϕ_{iobs} = es el valor observado

N = es el número de valores analizados

El NMB se utiliza para tener en cuenta el peso del error sistemático encontrado frente al valor de la variable de medida, la ecuación es la siguiente:

$$NMB = \sum \frac{abs(\phi_i - \phi_{iobs})}{\phi_{iobs} N}$$

El BIAS nos proporciona información sobre la tendencia del modelo a sobreestimar o subestimar una variable, nos cuantifica el error sistemático del modelo, conforme a las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, 2006) establece un sesgo

recomendado medio de entre ± 5 y $\pm 15\%$. El BIAS se define de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$BIAS = \sum \frac{(\phi_i - \phi_{iobs})}{N}$$

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice que mide la relación lineal existente entre dos variables, dando una idea del grado de relación existente entre ambas, de forma que $r=1$ implica que existe una relación directa perfecta, y $r=0$ que no se puede comprobar que exista relación lineal entre las variables. El coeficiente r se calcula de la siguiente manera:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N Z_{\phi_i} Z_{\phi_{iobs}}}{N}$$

Finalmente, el IOA complementa la información aportada por el resto de los estadísticos, al informar con un índice general sobre el comportamiento del modelo al compararlo con datos reales. Los resultados de la concordancia generalmente se clasifican según la siguiente escala (Carrisoza Urbina et al., 2015; Gilchrist, 2009): a) -1 a 0.00, concordancia totalmente inadecuada, b) 0.01 a 0.39, concordancia insuficiente, c) 0.40 a 0.75, buena concordancia, d) 0.76 a 0.99, excelente concordancia, e) 1, concordancia perfecta. El índice de ajuste se calcula como:

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (abs(P_i - O_m) + abs(P_i - O_m))^2}$$

P_i = valores pronosticados

ϕ_i = valores observados

ϕ_m = media de observaciones

Es importante señalar que, el análisis estadístico fue realizado conforme a las variables medidas en VIF (temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento).

IV. Resultados

Temperatura

De acuerdo con la Figura 3, indica de manera cualitativa que el comportamiento de lo observado a lo modelado es similar, no obstante, en los promedios

mensuales en julio, agosto y septiembre resultan ser menores a lo modelado. Según la evaluación de la sensibilidad, y tomando en cuenta la clasificación del IOA, coincide que para los en julio, agosto y septiembre existe una concordancia insuficiente, en tanto para los meses restantes la concordancia es excelente. La temperatura modelada para el año 2019 se considera con buena concordancia.

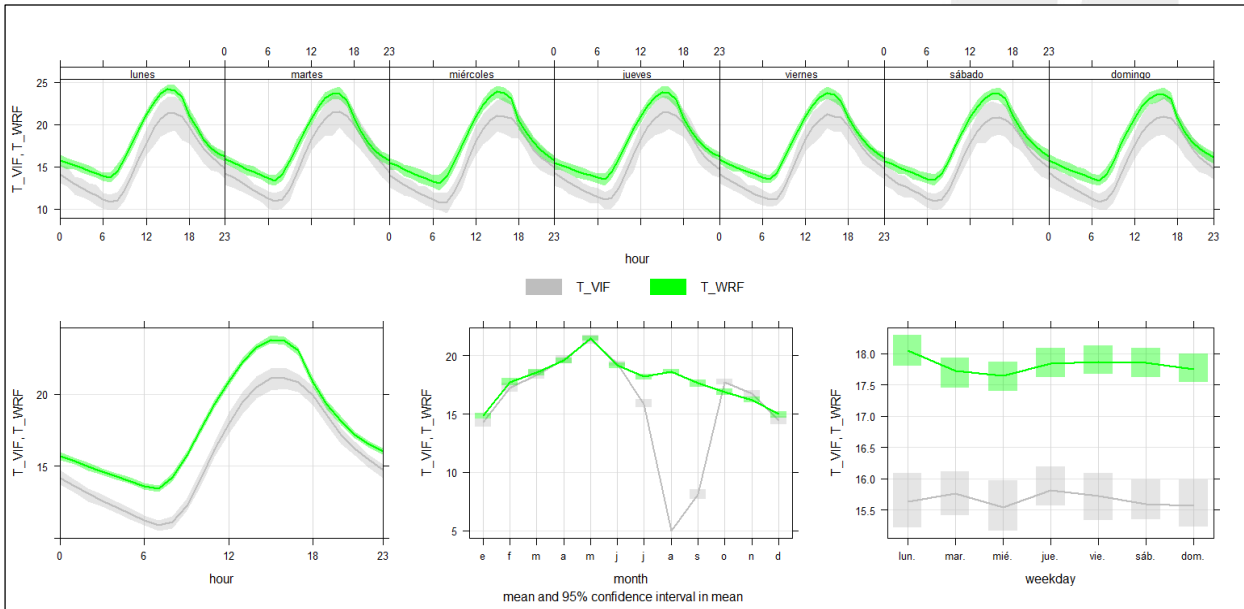
Tabla 2.- Evaluación de la sensibilidad para la temperatura

Mes	n	Temperatura				
		MB	NMB	RMSE	r	IOA
Ene	744	0,5	0,0	2,2	0,9	0,8
Feb	672	0,5	0,0	2,0	1,0	0,8
Mar	744	0,2	0,0	2,1	1,0	0,8
Abril	720	-0,1	0,0	2,1	0,9	0,8
May	744	0,1	0,0	2,3	0,9	0,8
Jun	720	-0,2	0,0	1,7	0,9	0,8
Jul	744	2,3	0,1	5,5	0,5	0,6
Agos	744	13,6	2,7	14,2	NA	-1,0
Sep	720	9,6	1,2	11,4	0,2	0,0
Oct	744	-0,9	0,0	1,8	0,9	0,8
Nov	720	-0,5	0,0	1,7	0,9	0,8
Dic	744	0,5	0,0	2,1	0,9	0,8
Total anual						0,68

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.- Comportamiento de la temperatura [°C] observada (T_VIF) y modelada (T_WRF) para el año 2019. Series de tiempo horaria por semana, diaria, mensual y semanal.



Fuente: Elaboración propia

Humedad relativa

De acuerdo con la Figura 4 sugiere de manera cualitativa que el comportamiento de lo observado a lo modelado es similar. De acuerdo con la aplicación de los estadísticos y tomando en cuenta la clasificación del IOA(), para el mes de febrero existe una excelente concordancia, mientras que para el resto del año la concordancia es buena. La humedad relativa simulada para el año 2019 se evalúa con buena concordancia.

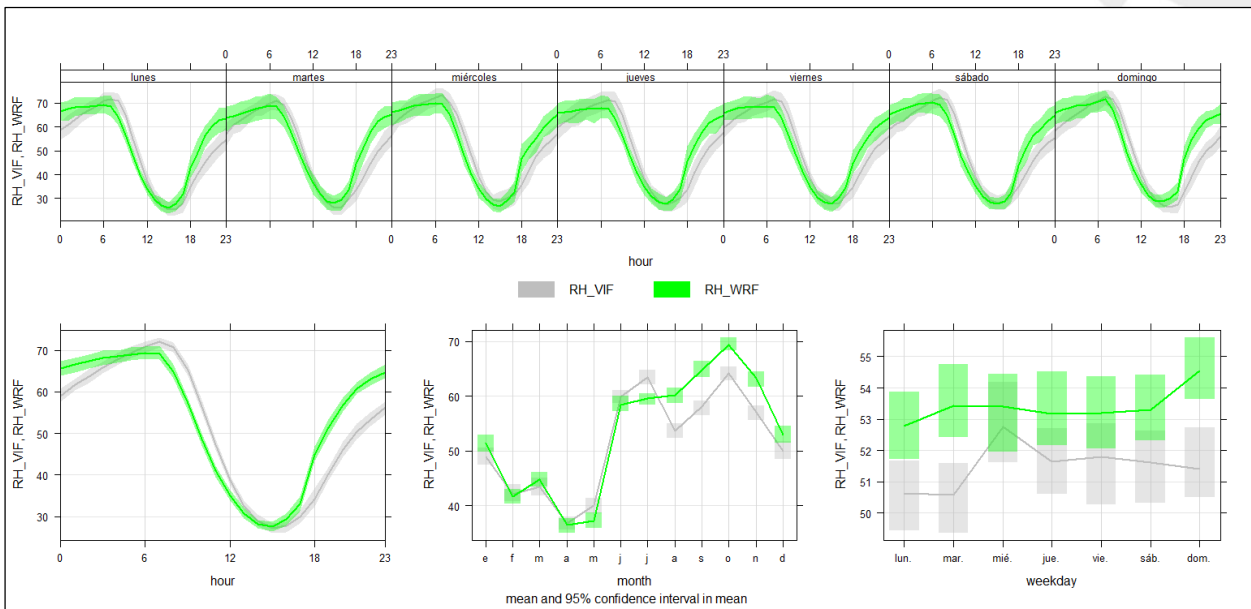
Tabla 3.- Evaluación de la sensibilidad para la humedad relativa

Mes	n	Humedad relativa				
		MB	NMB	RMSE	r	IOA
Ene	744	2,5	0,1	15,2	0,8	0,7
Feb	672	-0,4	0,0	10,9	0,8	0,8
Mar	744	1,4	0,0	13,4	0,8	0,7
Abril	720	-0,2	0,0	12,1	0,8	0,7
May	744	-2,8	-0,1	14,5	0,7	0,7
Jun	720	-1,4	0,0	13,1	0,8	0,7
Jul	744	-3,8	-0,1	11,8	0,8	0,7
Agos	744	6,6	0,1	13,3	0,8	0,7
Sep	720	6,8	0,1	15,5	0,7	0,6

Mes	n	Humedad relativa				
		MB	NMB	RMSE	r	IOA
Oct	744	5,2	0,1	12,9	0,8	0,7
Nov	720	6,2	0,1	13,6	0,8	0,7
Dic	744	2,9	0,1	12,7	0,8	0,7
Total anual						0,73

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.- Comportamiento de la humedad relativa [%] observada (RH_VIF) y modelada (RH_WRF) para el año 2019. Series de tiempo horaria por semana, diaria, mensual y semanal.



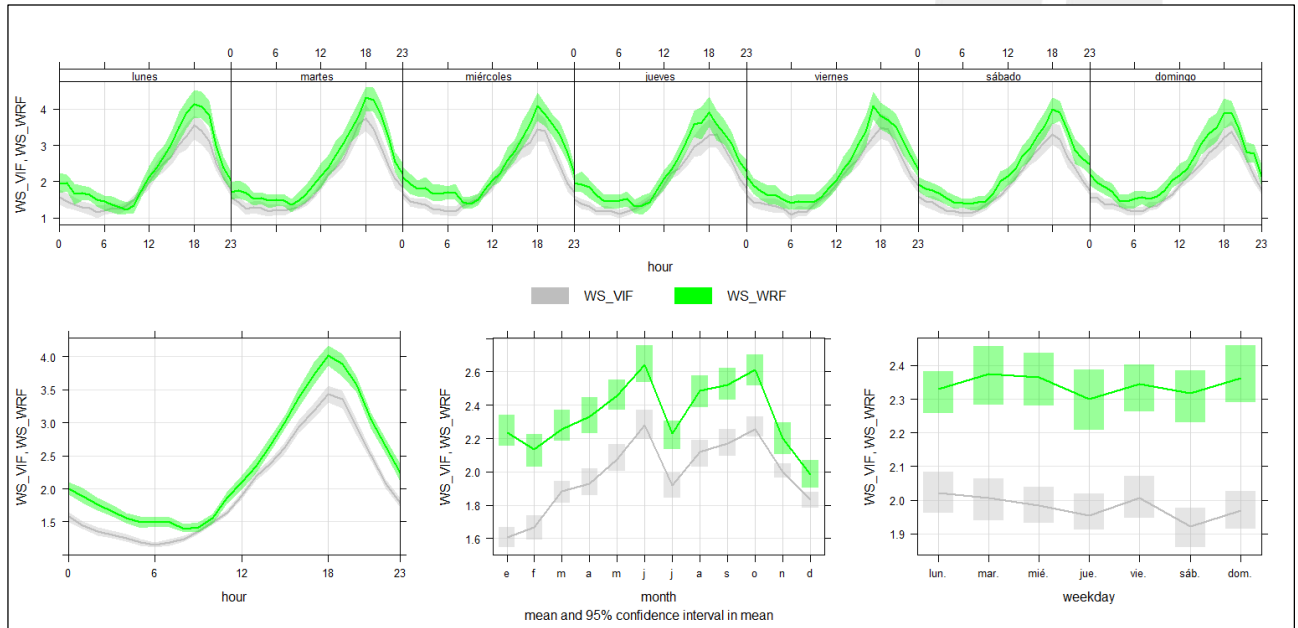
Fuente: Elaboración propia.

Velocidad y dirección del viento

En esta sección, conviene señalar que la velocidad y dirección son dos variables distintas, no obstante, en los MCA es importante considerar el producto de estas. La velocidad de viento puede ser analizada con los estadísticos propuesto, pero no la dirección, esto derivado a la naturaleza de la variable, dado que son datos polares.

De acuerdo con la Figura 5, indica de manera cualitativa que el comportamiento de lo observado a lo modelado es similar en todas las series de tiempo. Basándose en la evaluación de la sensibilidad, y tomando en cuenta la clasificación del IOA (Tabla 4), para el mes de enero y noviembre la concordancia es totalmente inadecuada, en comparación de del resto de los meses la concordancia es buena.

Figura 5.- Comportamiento de la velocidad del viento [°C] observada (WS_VIF) y modelada(WS_WRF) para el año 2019. Series de tiempo horaria por semana, diaria, mensual y semanal.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.- Evaluación de la sensibilidad para la velocidad del viento

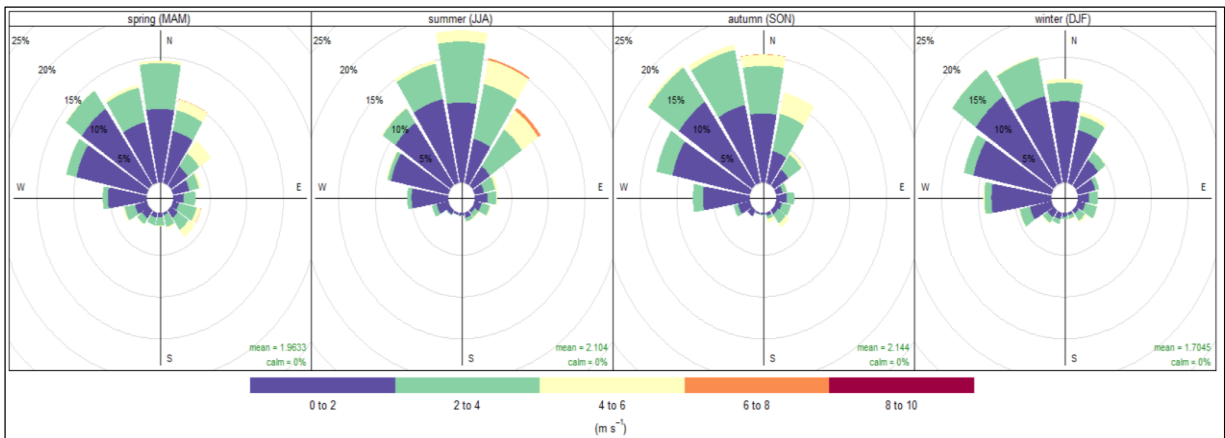
Mes	n	Velocidad del viento				
		MB	NMB	RMSE	r	IOA
Ene	744	0,6	0,4	1,2	0,6	0,3
Feb	672	0,5	0,3	1,2	0,6	0,4
Mar	744	0,4	0,2	1,2	0,6	0,4
Abril	720	0,4	0,2	1,4	0,5	0,4
May	744	0,4	0,2	1,4	0,5	0,4
Jun	720	0,4	0,2	1,1	0,7	0,6
Jul	744	0,3	0,2	1,1	0,6	0,5
Agos	744	0,4	0,2	1,1	0,7	0,6
Sep	720	0,4	0,2	1,1	0,7	0,5
Oct	744	0,4	0,2	1,1	0,6	0,5
Nov	720	0,2	0,1	1,1	0,5	0,2
Dic	744	0,1	0,1	1,2	0,5	0,0
Total						0,44

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que el IOA tiene un valor de 0,44, la dirección de viento generada por el modelo WRF para el año 2019 tiene una sensibilidad con buena concordancia. Finalmente, la comparación de las direcciones de viento entre lo observado y modelado (Figura 6 y Fuente: Elaboración propia.

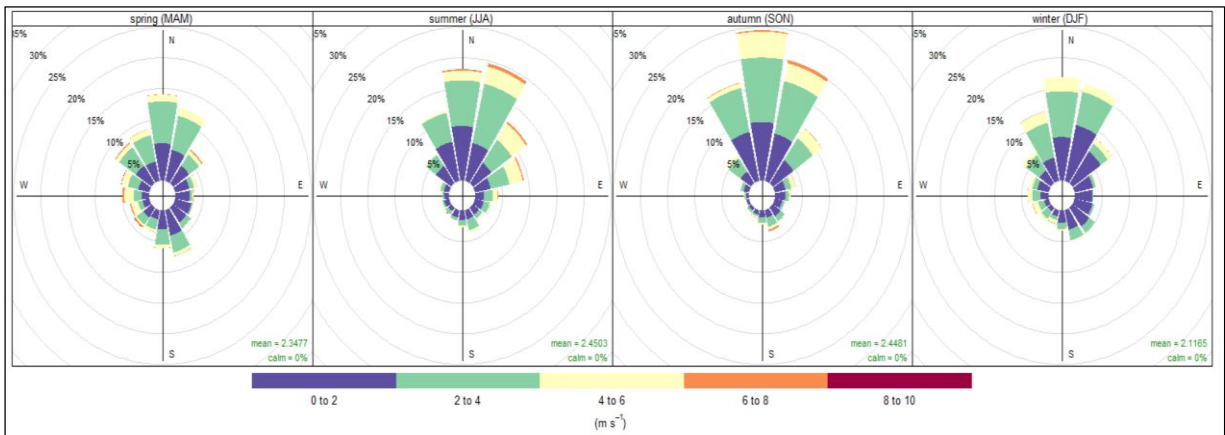
Figura 7), aparentemente resulta ser semejantes, aunque se visualiza una mayor tendencia de vientos predominantes de noroeste, en comparación de los valores del modelo que presenta mayor presencia de vientos provenientes del norte.

Figura 6.- Dirección del viento por estaciones correspondiente al año 2019 en la estación Villa de las Flores.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.- Dirección del viento por estaciones correspondiente al año 2019 generada por el modelo meteorológico WRF



Fuente: Elaboración propia.

V. Discusión

La base de datos de meteorología calculado a partir del sistema de modelización matemática WRF se determina con un índice de buena concordancia con respecto a los valores medidos en la estación meteorológica de Villa de las Flores,

específicamente en la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. De acuerdo con los resultados obtenidos para la temperatura, en los meses de julio, agosto y septiembre la concordancia fue insuficiente, probablemente a un error en la medición en estos meses, lo anterior se infiere debido a que se puede observar en las gráficas de comportamiento que estos meses (verano) tienen un promedio menor con respecto a los meses más fríos del año (enero y diciembre). Mientras que, para la humedad relativa, en general para todo año el índice de concordancia se considera como buena.

En el tema velocidad del viento, para los meses de noviembre, diciembre y enero fue totalmente inadecuada, se tendría que visitar la zona donde se encuentra la estación de monitoreo para identificar si existen barreras físicas que influyan en la medición de esta variable. Por otra parte, con relación a dirección de viento hubo diferencias cualitativas, pero se estima que esta discrepancia es en vista de que las coordenadas de generación de datos del WRF, no se ubican espacialmente en el mismo punto de la estación meteorológica de Villa de las Flores, dado a que la distancia entre las coordenadas es de 5 km. Así mismo, es probable que la resolución de la malla de cálculo de 12 km del WRF no sea adecuado para evaluar la concordancia entre los datos modelados y datos medidos, por lo que se recomienda en trabajos posteriores analizar mallas con resolución mayores a este (<12 km).

En México, así como en gran parte de los países del mundo, se carece de información meteorológica confiable de superficie y vertical en regiones donde es complicado instalar u operar estaciones. Por consiguiente, en materia de contaminación atmosférica para los MCA, resulta imprescindible generar base de datos, protocolos, guías, normas e índices que nos ayuden a mejorar la precisión de los modelos, lo que contribuiría a una mejor gestión de la calidad del aire.

VI. Referencias

- Afzali, A., Rashid, M., Afzali, M., & Younesi, V. (2017). Prediction of Air Pollutants Concentrations from Multiple Sources Using AERMOD Coupled with WRF Prognostic Model Afsaneh. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.196>
- Baldasano, J. M., Valera, E., & Jiménez, P. (2003). Air quality data from large cities. *The Science of the Total Environment*, 307(1-3), 141-165. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00537-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00537-5)
- Carrisoza Urbina, J., Flores Velázquez, E., Gutiérrez Reyes, J. A., & Juárez López, N. O. (2015). Wettbewerb Berufliche Schulen Dokumentation des Wettbewerbs ... mit den Preisträgerinnen und Preisträgern. In *Veterinaria México OA* (Vol. 2, Issue 3). Landesstiftung. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-67602015000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- CIEMAT. (2015). *Modelización de la contaminación atmosférica*. Retrieved from *Introducción a modelos*: <http://www.ciemat.es/MCAportal/portal.do?IDM=10&NM=2>.
- EPA. (2004). *User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model e AERMOD*. EPA 454/B 03 001.
- EPA. (2006). *40 CFR Subchapter C - AIR PROGRAMS*.
- EPA. (2015). *Guidance on the Use of the Mesoscale Model Interface Program (MMIF) for AERMOD Applications*. EPA-454/B-15-001.
- EPA. (2016). *Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM)*. Air Modeling - Observational Meteorological Data. <https://www.epa.gov/scram/air-modeling-observational-meteorological-data>
- Gilchrist, J. M. (2009). Weighted 2 × 2 kappa coefficients: recommended indices of diagnostic accuracy for evidence-based practice. *Journal of Clinical Epidemiology*, 62(10), 1045-1053. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2008.11.012>
- González-rocha, Sergio Natan, Oseguera, J., Zúñiga, M., Palomino, I., Ríos, L., Vega. (2015). Contaminación ambiental por ruido urbano en la ciudad de poza rica, Veracruz, México. *Exploratoris, Revista de La Realidad Global*, 4(ISSN 2153-3318).
- Jorba Casellas, O. (2005). Simulación de los campos de viento de la Península Ibérica y el área geográfica de Catalunya con alta resolución espacial para distintas situaciones meteorológicas típicas. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*. <http://www.tdx.cat/handle/10803/6836>
- Kalhor, M., & Bajoghli, M. (2017). Comparison of AERMOD , ADMS and ISC3 for incomplete upper air meteorological data (case study: Steel plant). *Atmospheric Pollution Research*. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.06.001>
- Kesarkar, A. P., Dalvi, M., Kagainalkar, A., & Ojha, A. (2007). *Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for pollutant dispersion modeling . A case study*

for *PM10 dispersion over Pune , India.* 41, 1976–1988.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.042>

Kumar, A., Patil, R. S., Kumar, A., Kumar, R., Brandt, J., & Hertel, O. (2016). Assessment of impact of unaccounted emission on ambient concentration using DEHM and AERMOD in combination with WRF. *Atmospheric Environment*, 142, 406–413.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.024>

NCEP. (2020). *National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce (2000): NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research.*

Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tipp, P., & Behringer, D. (2011). *NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) 6-hourly Products. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory, Boulder, CO.*

Seigneur, C., & Dennis, R. (2011). *CHAPTER 8: Atmospheric modeling.*

SEMARNAT. (2012). NOM-156-SEMARNAT-2012. *INECC*, 32.

