

El papel de los suelos en la sostenibilidad del medio ambiente y la sociedad



CIENCIA DEL SUELO

Hacia un conocimiento global y
multidisciplinario del recurso suelo

División IV: **El papel de los suelos en la
sostenibilidad del medio ambiente y la
sociedad**

Coordinadores: Dra. Ángeles Gallegos, M. en C. Juan David Mahecha
y Dra. Silvia Ramos



Ciudad Universitaria UNAM, octubre del 2023

**Hacia un conocimiento global y
multidisciplinario del recurso suelo: el
papel de los suelos en la sostenibilidad del
medio ambiente y la sociedad**

**Sociedad mexicana de la ciencia del
suelo**

Presidente

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval

Vicepresidente

Dr. Fabián Fernández Luqueño

Secretario técnico

Dr. Miguel Ángel Valera Pérez

Secretario general

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete

Secretario de eventos nacionales e
internacionales

Dr. José Víctor Tamaríz Flores

Tesorero

Mtro. David Hernández Sánchez

Secretaría de educación y enseñanza

Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega

Secretaría de relaciones públicas

Dr. Gilberto Vela Correa

Secretaría de acción juvenil

Mtra. Martha Daniela Bobadilla
Ballesteros

Comité editorial del libro de resúmenes

Editores

Dr. Fernando Ayala Niño

Dr. Francisco Bautista

**Coordinadores de los fascículos del
libro**

División I: suelos en espacio y tiempo.

Dr. Joel Zavala Cruz y Dr. Antonio

López

Castañeda

División II: propiedades del suelo y
procesos.

Dr. Francisco Bautista y Dra. Anahí

Aguilera

División III: el uso y manejo del suelo.

Dr. David J. Palma López y Dr. Rufo

Sánchez Hernández

División IV: el papel de los suelos en la
sostenibilidad del medio ambiente y la
sociedad.

Dra. Ángeles Gallegos, M en C. Juan

David Mahecha y Dra. Silvia Ramos

Cita sugerida:

Gallegos, A., Mahecha, J.D., Ramos, S. (Compiladores). 2023. El papel de los suelos en la sostenibilidad del medio ambiente y la sociedad. Vol 4. En: Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo. Bautista F. y Ayala F. (Eds). Sociedad mexicana de la ciencia del suelo. Texcoco, Estado de México. 252 pp.

Por este medio declaramos que los capítulos de libro fueron arbitrados a doble, triple y cuádruple ciego con la finalidad de contar con un libro de calidad. En total se contó con 30 arbitrajes de 16 capítulos.

ISBN OBRA COMPLETA: 978-607-95106-5-7 ISBN DEL VOLUMEN 4: 978-607-95106-9-5

DR @ 2023. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo.

Derechos reservados conforme a la ley. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida por cualquier medio, sin el consentimiento por escrito de la Sociedad mexicana de la ciencia del suelo o de los titulares correspondientes.

Las opiniones, datos y citas presentados en esta obra son responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja, necesariamente, los puntos de vista de la institución que edita esta publicación.

Prohibida su reproducción parcial o total, por cualquier medio, mecánico, electrónico, de fotocopias, térmico u otros, sin permiso de los editores.

Hecho en México

Prólogo

El suelo, irrefutablemente, es un elemento vital para asegurar la permanencia y sobrevivencia de los seres humanos. Desde el punto de vista estructural, el suelo es un componente fundamental del paisaje; y desde el punto de vista funcional es el elemento que articula las relaciones entre los elementos vivos u orgánicos con los mínimos de elementos minerales de los ecosistemas. El suelo tiene funciones irremplazables y bien identificadas. La primera, es el principal elemento de soporte y anclaje para la sobrevivencia de la biodiversidad, en especial de las plantas. También contiene la función inherente de servir como un filtro y amortiguamiento para poder transformar toda una serie de diversos elementos orgánicos en elementos minerales. El suelo y su biota conforman un verdadero banco genético de interacciones vivas y minerales constantes. Otra de las funciones fundamentales del suelo es el papel regulador de los ciclos hidrológicos y captura y almacenamiento de carbón.

En general, los suelos tienen una relación con cuatro componentes del paisaje. El material parental o la roca de la cual derivan; el acomodo que se da en el contexto de las formas del relieve; y las interacciones con la biótica en la que se circunscribe; y el vínculo socio-cultural. Por esto el suelo se alude como la interfaz que sin su papel el ambiente no se entiende ni opera sustentablemente. El estudio del suelo incluye el soporte mecánico de elementos de su estructura, las características de los agregados que lo constituyen, rasgos de penetrabilidad, profundidad, nutrientes, material mineral que lo compone, así como la combinación de la textura, ya sea de limos, arcillas o de arenas. El pedón es la unidad mínima para estudiar y describir un suelo donde se observan, miden y estudia la cantidad de materia orgánica, humus que contiene y tipo de pH ya sea ácido, neutro o básico que caracteriza a cada horizonte. Todo esto en conjunto define las funciones y capacidades de almacenamiento de agua y aire y fertilidad. Por todo esto, la edafología como la ciencia avocada al estudio del suelo, es a menudo insuficiente para entender todas las interacciones.

Los procesos formadores de suelo tales como la calcificación, la mineralización, la salinización, entre otros, dan como resultado un mosaico muy complejo de tipos de suelo. Por lo tanto, la geografía de los suelos es un tema de crucial importancia y base para la definición de políticas ambientales.

El suelo no es ajeno a los disturbios que pueden darse, ya sean de origen natural o antropogénicos. La deforestación es uno de los temas más inmediatos en los que uno puede pensar que tiene un impacto directo sobre el suelo. Ésta, es generalmente acompañada de aspectos agropecuarios que afectan tanto la función como la estructura pues se introduce un componente de pisoteo y uso exacerbado. El cambio de uso de suelo de rural a urbano es mucho más impactante dado que conlleva al sellamiento lo que inhibe las funciones. Asociado al cambio de suelo, los contaminantes tienen un segundo impacto en ocasiones irreversible. En este contexto, el estudio del suelo debe estar al centro de los estudios de estructura, función y salud ambiental.

Una de las líneas más interesantes desde mi punto de vista es el estudio del suelo desde la perspectiva sociocultural, o lo que se alude como edafología antropológica. El suelo tiene significados místicos, ideológicos, religiosos y por supuesto hasta productivos, por lo que su relación suelo-hombre es longeva como la existencia del Homo sapiens.

En el contexto de México, se sabe que existe más de 25 tipos de suelos que son muy distintos entre las diversas regiones, tanto por su diversidad geológica, climática y biogeográfica. México, no obstante, alberga solo un 10% de su superficie con suelos de vocación agrícola y el resto es preferentemente de vocación forestal. Adicionalmente, casi el 45% de los suelos nacionales presenta algún tipo de disturbio. Por lo anterior, la sustentabilidad no puede abordarse de manera congruente sin un buen levantamiento de suelos.

El estudio de los suelos, como se presenta en este libro, resulta relevante. El poder presentar los resultados de este trabajo que aquí se ilustra para dar a conocer la importancia que tiene el suelo, que en mi naturaleza de biólogo no puede ser distinta, o menos importante que lo que es el valor de la biodiversidad como elementos fundamentales para asegurar la sobrevivencia en el largo plazo de la vida en el planeta, incluyendo la de los humanos.

Sin suelo no hay maíz y sin maíz no hay país....

Dr. Alejandro Velázquez

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental

Universidad Nacional Autónoma de México

Prefacio

La actual necesidad de las sociedades humanas para alcanzar el desarrollo sustentable presenta al recurso suelo como un elemento fundamental para el logro de este objetivo, debido a sus funciones ambientales y servicios ecosistémicos indispensables para la humanidad. Sin embargo, se ha hecho un usufructo considerable de este recurso con la ampliación de las fronteras agrícolas, los procesos minero-energéticos y el aporte de contaminantes, que no tienen en consideración su vocación, fragilidad, capacidad y propiedades; lo que ha generado procesos de deterioro y cuestionan si este recurso natural tendrá la posibilidad de sostener a la creciente población humana. Es por esto que se requiere la generación de investigación e innovación que contribuyan a una gestión sostenible de los suelos del mundo.

El estudio de las ciencias del suelo atraviesa por un momento crucial, que requiere de un conocimiento global y multidisciplinario, evidente en los aportes que hacen los 52 trabajos científicos de este volumen, en los cuales los edafólogos mexicanos responden a las problemáticas generadas por la creciente demanda de bienes y servicios, la inadecuada planificación territorial, el desconocimiento y subvaloración de las funciones del suelo, la desarticulación institucional y la deficiencia en los marcos normativos.

El conjunto de temas que abordan los autores de este libro se centra en: a) el análisis de la contaminación por metales pesados y el riesgo que representan para la salud humana; b) la apropiación social del conocimiento del recurso suelo; c) la aplicación de nuevas tecnologías para la agricultura de precisión; d) las funciones que desempeñan los microorganismos del suelo, especialmente para los agroecosistemas; y e) la importancia de la gobernanza para la gestión y uso sustentable del recurso suelo. Temas que de manera individual o conjunta aportan conocimiento a las actuales necesidades de la sociedad.

Cabe destacar del conjunto de temáticas presentadas en la División IV, las nuevas investigaciones enmarcadas en la multidimensionalidad de la seguridad edáfica; la aplicación de las nuevas tecnologías para la difusión de información edafológica que sirvan para lograr la conectividad con los tomadores de decisiones; las investigaciones útiles para la codificación de nuevas normas y políticas públicas que se orienten hacia el manejo sustentable de los suelos; y las investigaciones sobre las prácticas de conservación y restauración que consideren su capacidad, condición y valor económico.

Un uso sustentable del recurso suelo asegurará la salud y bienestar de las futuras generaciones.

Dra. Ángeles Gallegos Tavera
Universidad Nacional Autónoma de México

M en C. Juan David Maecha
Universidad de los Llanos, Colombia

Dra. Silvia Ramos Hernández
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

Contenido

EVALUACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL LEPTOSOL CONTAMINADO CON HIDROCARBURO DURANTE LA ELECTRO-FITOREMEDIACIÓN PARA LA DEGRADACIÓN DEL CONTAMINANTE.....	12
AISLAMIENTO DE ACTINOBACTERIAS DEL SUELO EN TRES ZONAS DE CHIHUAHUA, MÉXICO	18
ALMACENES DE CARBONO Y ESTABILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DE TECNOSOLES DE AZOTEAS VERDES	23
ALTÉPETL BIENESTAR, ¿DESACELERADOR DE LA EXPANSIÓN URBANA?	28
CARACTERIZACIÓN DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD DISPONIBLE DEL CAUCHO COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS.....	34
COMPILACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE EROSIÓN EN MÉXICO PUBLICADOS EN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS EN IDIOMA ESPAÑOL.....	39
COMPORTAMIENTO FISICOQUÍMICO DE SUELO CON COMPOSTA EN PRESENCIA DE IONES CONTAMINANTES DE As(V) Y Cd (II)	44
COMPOSTA DE LODO RESIDUAL Y MATERIAL VEGETAL: DESPERDICIO A BENEFICIO DEL SUELO	49
CONFIGURACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO DE <i>Prosopis laevigata</i> (mezquite) EN UN MOSAICO DE matorral xerófilo del Valle del Mezquital, Hidalgo	54
DIAGNÓSTICO DOMICILIARIO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN EL SUELO Y POLVO URBANO EN VALLADOLID, YUCATÁN, MÉXICO	59
DIVULGANDO ANDO, SOBRE EL SUELO A LOS PEQUEÑOS ENSEÑANDO	65
EFFECTO BIOESTIMULANTE DE METABOLITOS BACTERIANOS EN SEMILLAS DE <i>Hibiscus sabdariffa</i> Y <i>Prosopis juliflora</i>	70
EFFECTO DE DIFERENTES COMPOSTAS SOBRE EL NÚMERO DE BROTES Y ALTURA DE LA PLANTA DE DIFERENTES CULTIVOS.....	75
EFFECTO DEL PERRITO LLANERO MEXICANO (<i>Cynomys mexicanus</i>) EN LA CALIDAD DEL SUELO: UN CASO DE ESTUDIO EN COAHUILA.....	81
EL FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES PARA EL DESARROLLO RURAL SUSTENTABLE	86
EL USO DE BIOFERTILIZANTE EN LOS SISTEMAS AGROECOLÓGICOS DEL SUELO DE CONSERVACIÓN	90

ELABORACIÓN DE SUELOS ARTIFICIALES A PARTIR DE RESIDUOS URBANOS: UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA REVEGETAR CIUDADES	94
LA DIVULGACIÓN COMO PUENTE ENTRE LA COMUNICACIÓN DEL RIESGO Y LA PROTECCIÓN DEL SUELO	99
ELABORACIÓN DE TECNOSUELOS A PARTIR DE RESIDUOS MINEROS PARA LA RECUPERACIÓN DEL PAISAJE.....	103
EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN ENTRE MICORRIZACIÓN Y NODULACIÓN EN EL CRECIMIENTO VEGETAL DE FRIJOL	109
EXTRACTOS DE AXIHUITL CULTIVADO EN SUELOS DE BOSQUE DE PINO INHIBEN EL CRECIMIENTO DE <i>Helicobacter pylori</i>	114
FACTORES TOPO-EDÁFICOS Y LA COMUNIDAD ARBÓREA MOLDEAN LOS ATRIBUTOS COMUNITARIOS DE LAS LIANAS EN UN BOSQUE HÚMEDO NEOTROPICAL.....	120
FERTILIZACIÓN FOLIAR Y CONTROL BIOLÓGICO CON DRONES.....	125
HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES: PROMOTORES DEL CRECIMIENTO EN ESPECIES VEGETALES DE INTERÉS AGRÍCOLA BAJO CONDICIONES ALTAMENTE SALINAS	130
INFLUENCIA DEL MANEJO AGROFORESTAL SOBRE LA COMUNIDAD DE LA FAUNA DEL SUELO EN CULTIVOS DE PITAHAYA.....	136
LA CONSERVACIÓN DEL AGROECOSISTEMA CHINAMPERO COMO UN SISTEMA SOCIOAMBIENTAL COMPLEJO	140
LAS COLECCIONES DE SUELOS Y SU IMPORTANCIA EN LA DIFUSIÓN DE LA CIENCIA DEL SUELO EN MÉXICO	145
LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN ZONAS CON RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DENTRO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA	149
LOS NANOTUBOS DE CARBONO DE PARED MÚLTIPLE INCREMENTAN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN SUELO DE CULTIVO CON TOMATE SALADETTE	154
MANEJO INTEGRAL DE HUMEDALES EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO: TLÁHUAC	159
MANEJO INTEGRAL DE TIERRAS, INTERVENCIÓN UNIVERSITARIA Y PARTICIPACIÓN SOCIAL, EN EL ALTO MEZQUITAL, HIDALGO.....	162
INTRODUCCIÓN.....	162
MODELO DE EVALUACIÓN DE CALIDAD AMBIENTAL DE RIBERAS EN EL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO	167
MODELOS MENTALES DE LAS APROXIMACIONES BIOECONÓMICAS AL ESTUDIO DEL SUELO. CASO SAN NICOLÁS TOTOLAPAN	172

MONITOREO COMUNITARIO DE LA BIODIVERSIDAD EN LAS ARCAC.....	179
MONITOREO DEL SUELO DE CIUDAD UNIVERSITARIA EN SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N.L.	184
NORMATIVIDAD VIGENTE APLICABLE A LA CONSERVACIÓN DE LAS DUNAS EN BAJA CALIFORNIA SUR, NOROESTE DE MÉXICO	189
PERCEPCIÓN REMOTA APLICADA A LA DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE ÁREAS DE EXTRACCIÓN MINERA EN LA SIERRA GORDA DE QUERÉTARO	195
SUELOS EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO Y SU RELACIÓN CON LA ECOLOGÍA DE PALMAS EN EL PAISAJE	201
PROYECTO DE OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA EN PARRES, TLALPAN, CIUDAD DE MÉXICO	206
RED UNIVERSITARIA DE LABORATORIOS DE SUELOS DEL PROGRAMA UNIVERSITARIO DE ESTUDIOS INTERDISCIPLINARIOS DEL SUELO (RULabS-PUEIS)	213
REDUCCIÓN DEL ESTRÉS SALINO POR ACCIÓN DE BACTERIAS HALOTOLERANTES PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL EN <i>Solanum lycopersicum</i>	218
RENDIMIENTO Y COSTOS DE PRODUCCIÓN DE AVENA FORRAJERA EN EL ALTO MEZQUITAL, HIDALGO	222
SUELOS AGRÍCOLAS DEL RÍO SONORA: UN CASO DE CONTAMINACIÓN CON METALES Y MICROPLÁSTICOS.....	227
SUELOS EN ESPACIOS VERDES URBANOS, VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES	233
TRASLOCACIÓN DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (EPT'S) A ESPECIES VEGETALES EN UNA ZONA MINERA	237
VARIABILIDAD ESTACIONAL DE FLUJOS DE DIÓXIDO DE CARBONO, VAPOR DE AGUA Y ENERGÍA EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA	242
VALORACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA REPRODUCCIÓN DE PLANTAS EN VIVERO, LA COLABORACIÓN UNAM - CORENARD	247

VARIABILIDAD ESTACIONAL DE FLUJOS DE DIÓXIDO DE CARBONO, VAPOR DE AGUA Y ENERGÍA EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA

Elí Rafael Pérez Ruiz¹; Felipe Adrián Vázquez Gálvez¹; Yazmin Guadalupe Hernández García¹; Edith Flores Tavizón¹; Abraham Ortíz Álvarez²

¹Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Av. del Charro no. 450 Nte. Col. Partido Romero CP 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua; ²Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Blvd. Adolfo Ruíz Cortines 4209, Jardines en la Montaña, 14210, Coyoacán, Ciudad de México.

RESUMEN

Cambios antropogénicos a la superficie terrestre pueden provocar alteraciones en el intercambio de materia y energía entre la superficie y la atmósfera, por lo que entender su dinámica en las ciudades es fundamental. En este estudio se analizó la estacionalidad de los flujos de dióxido de carbono, vapor de agua y energía (calor sensible) en Ciudad Juárez, Chihuahua. Adicionalmente, se buscó establecer los factores biofísicos y/o antropogénicos que controlan los flujos. Se midieron flujos de dióxido de carbono, vapor de agua y calor sensible durante 2020-2021. Se analizaron los ciclos diurnos anuales y estacionales durante el periodo de estudio. Durante la estación fría, valores elevados de flujos de dióxido de carbono y valores bajos de vapor de agua y calor sensible se observaron, lo que coincide con períodos de alto uso de combustible para calefacción y vegetación inactiva. En contraste, durante la estación calurosa, valores altos de flujos de dióxido de carbono y vapor de agua se observaron coincidiendo con la actividad de la vegetación. El rol de la actividad antropogénica y la dinámica de la vegetación es claro en los flujos, sin embargo, es necesario entender como los procesos de respiración y evaporación del suelo contribuyen a los intercambios de materia y energía. De igual manera, es necesaria una clasificación del uso de suelo dentro del área de influencia de los flujos debido a la alta heterogeneidad de los sitios urbanos.

PALABRAS CLAVE: *Atmósfera; Covarianza de vórtices; Flujos superficie; Zonas urbanas.*

INTRODUCCIÓN

Cambios en las condiciones originales del suelo debido a actividades antropogénicas pueden generar afectaciones en las interacciones superficie-atmósfera (Velasco y Roth, 2010; Bergeron y Strachan, 2011). Materiales más impermeables y con elevada conducción térmica, así como la disminución de vegetación, pueden alterar significativamente el balance de materia y energía entre la superficie y la atmósfera (Pérez -Ruiz *et al.*, 2020). En los ecosistemas naturales, dichos flujos son dominados por la fotosíntesis y la respiración, mientras que en ecosistemas urbanos esto es una combinación del metabolismo natural y urbano. En las ciudades, la presencia de fuentes adicionales de gases, agua y calor genera un desbalance que se traduce generalmente en una fuente neta de emisiones (Velasco *et al.*, 2013, 2016).

Durante las últimas décadas se han incrementado el número de estudios tratando de comprender el comportamiento de las interacciones entre la superficie y la atmósfera en paisajes urbanos (Velasco *et al.*, 2016). En particular, hay un énfasis en la determinación de fuentes y sumideros de materia y energía, así como elucidar los elementos naturales y del ambiente construido que dominan la dinámica de los flujos de materia y energía. En este estudio se presentan resultados de mediciones de flujos de dióxido de carbono (FC), vapor de agua (λ ET) y calor sensible (H) en un campus universitario de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un campus universitario de la UACJ en Ciudad Juárez, Chihuahua, a través de la medición de flujos superficie-atmósfera (Figura 1). El sitio se puede clasificar como una zona climática local tipo 6, abierta de tamaño mediano (Stewart y Oke, 2012), compuesta por edificios de máximo tres pisos, estacionamientos, zonas peatonales, vegetación esparcida; y edificios de máximo tres pisos, rodeado de maquiladores, zonas residenciales y de esparcimiento, además de calles de tráfico mediano a alto, con suelo predominantemente Solonchak de textura media.

Obtención y procesamiento de datos

Se utilizó la técnica de covarianza de vórtices (EC) para medir los flujos durante el periodo 2020-2021. El sistema EC consiste en un analizador de gases infrarrojo LI-7500 para la medición de concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua, y un anemómetro sónico tridimensional CSAT-3 para medir velocidad y dirección del viento en sus tres componentes espaciales, así como temperatura del aire. Los instrumentos se encuentran instalados a una altura total de 21.3 m. Se recolectaron datos de alta frecuencia (10 mediciones por segundo de 10 Hz) y se promediaron cada 30 minutos mediante el uso del software *EddyPro 7.0.6*. Datos espurios fueron descartados mediante un control de calidad. Se obtuvieron valores diarios y ciclos diurnos de FC, λ ET y H de forma anual y estacional.

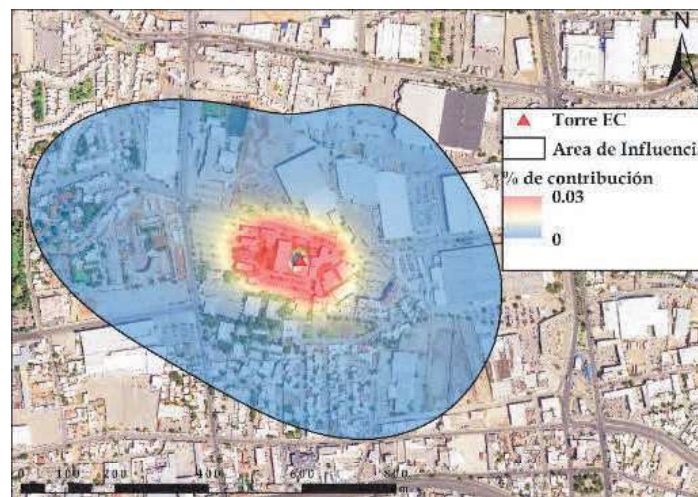


Figura 1. Sistema EC (triángulo rojo) en el sitio de estudio mostrando el área de influencia de flujos (línea negra).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El comportamiento diurno de FC y λET mostró diferencias considerables entre 2020 y 2021 (Figura 2). Mientras en 2020 tenemos valores positivos más altos de FC (emisión); durante 2021 podemos ver una disminución considerable, sobre todo alrededor de mediodía, coincidiendo con la máxima actividad de la vegetación. Se pueden observar también picos de emisión coincidiendo con las horas pico de tráfico. Una situación similar se observa para λET , con valores más bajos durante 2020 con respecto a 2021. Esta diferencia puede ser explicada principalmente debido a la disminución de la actividad antropogénica alrededor del sitio de monitoreo durante la pandemia de COVID-19, así como a una disminución de la irrigación y el uso de agua en el campus. El flujo de calor sensible no se vio afectado considerablemente.

Cuando observamos la variabilidad estacional de los ciclos diurnos de los flujos se pueden elucidar diferencias más claras en el comportamiento de estos (Figura 3). Por ejemplo, para FC, se observan diferencias más grandes en los flujos, especialmente durante el día, con valores mayores de emisión durante invierno y otoño de 2020 y una mayor captura de carbono durante la primavera y verano de 2021. De igual manera, se pueden notar patrones distintos diferenciados entre invierno-otoño y primavera-verano, con clara influencia de la vegetación. λET mostró valores menores durante todas las estaciones de 2020, en particular, por una disminución de la irrigación que restringió la cantidad de humedad en el suelo y su consecuente evapotranspiración. Valores mayores pueden ser observados durante la primavera y verano de 2021, periodo en que las actividades del campus, y la irrigación regresaron a la normalidad. Finalmente, el flujo de calor latente, el cual no está fuertemente influenciado por la actividad de la vegetación, la humedad del suelo y el metabolismo urbano, no mostró cambios significativos en su comportamiento entre 2020 y 2021 a pesar de la pandemia.

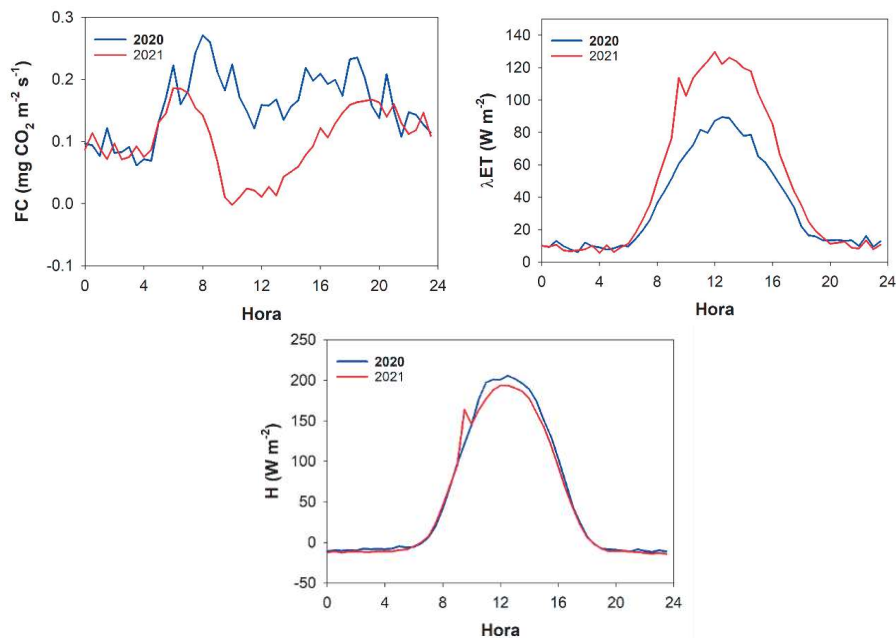


Figura 2. Ciclos diurnos de FC, λET y H para los años 2020 y 2021.

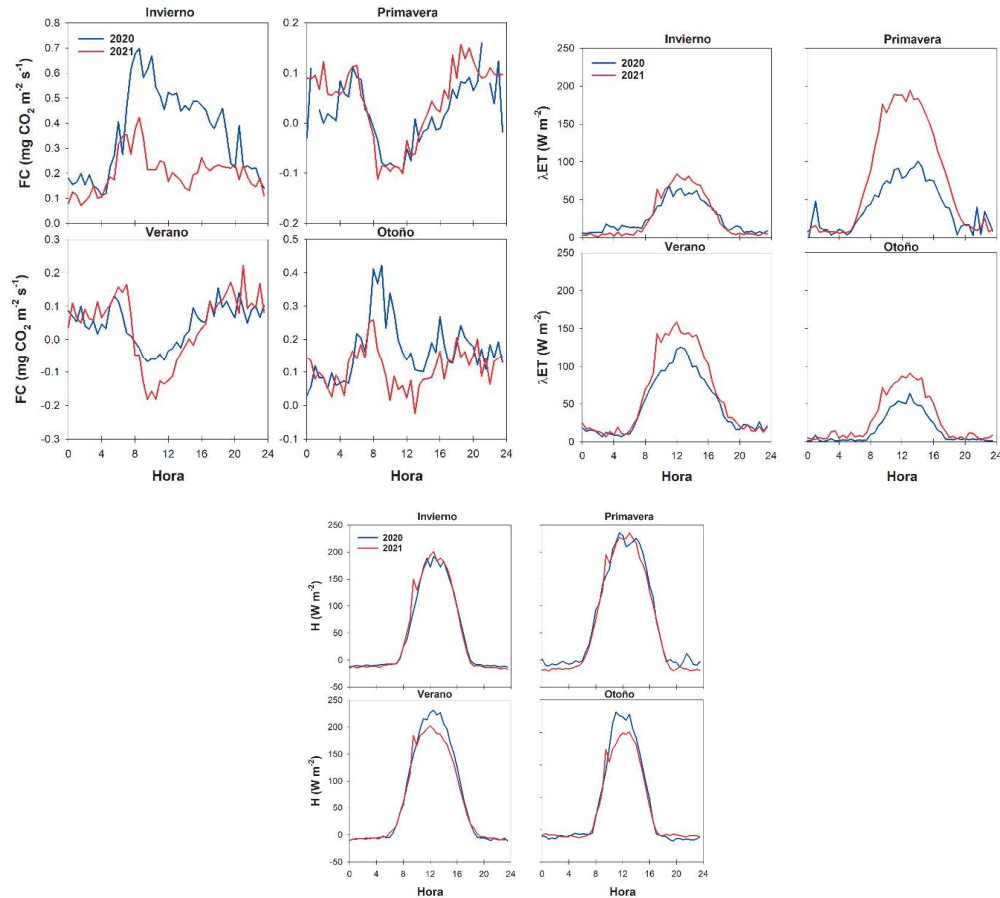


Figura 3. Ciclos diarios de FC, λET y H para las estaciones del año durante 2020 y 2021.

CONCLUSIONES

La medición de flujos superficie-atmósfera en ecosistemas urbanos es fundamental para la comprensión de las fuentes y factores que controlan la dinámica de flujos de dióxido de carbono, vapor de agua y calor sensible. La alta heterogeneidad de estos sistemas requiere una caracterización más precisa del área de influencia de los flujos. Aun así, es posible elucidar algunos mecanismos de control. Por ejemplo, los datos muestran claramente que, durante la primavera y el verano, la vegetación y la humedad del suelo juegan un papel importante regulando los flujos de dióxido de carbono y vapor de agua, en particular durante mediodía. Sin embargo, picos de emisiones de flujos de dióxido de carbono coinciden con horas pico de tráfico. Mientras los flujos de materia se vieron fuertemente afectados por la disminución de la actividad antropogénica durante la pandemia de COVID-19, el flujo de calor sensible no mostró cambios significativos a pesar del aislamiento.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático a través del convenio UACJ/AG/CV-4/2016 con la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

BIBLIOGRAFÍA

El papel de los suelos en la sostenibilidad del medio ambiente y la sociedad

Bergeron, O., Strachan, I. B. (2011). CO₂ sources and sinks in urban and suburban areas of a northern mid-latitude city. *Atmospheric Environment*, 45(8), 1564-1573.

Stewart, I. D., Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900.

Velasco, E., Roth, M., Tan, S. H., Quak, M., Nabarro, S. D. A., Norford, L. (2013). The role of vegetation in the CO₂ flux from a tropical urban neighbourhood. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(20), 10185-10202.

Velasco, E., Roth, M. (2010). Cities as net sources of CO₂: Review of atmospheric CO₂ exchange in urban environments measured by eddy covariance technique. *Geography Compass*. 2010; 4(9): 1238-1259.

Velasco, E., Roth, M., Norford, L., Molina, L.T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning*; 148: 99-107.