

PLAN CIENTIFICO

1. CONTEXTO GENERAL

En lo siguiente se describen en forma resumida las redes orientadas al conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México, presentando sus principales rasgos e iniciativas.

1.1 Sitios intensivos de monitoreo y Red Mex-SMIC

El Dr. Richard Birdsey del USFS promovió en el 2010 la implementación de sitios intensivos de monitoreo en Atopixco, Hidalgo y Kaxil Kiuic, Yucatán, sitios donde existía trabajo previo por varios años e intereses de grupos de investigación bien definidos. Posteriormente, en 2011 se establecieron torres de EC en los sitios mencionados. La fuente financiera fue USAID-USFS.

El enfoque planteado fue establecer sitios intensivos de monitoreo (SIM) para integración de datos de inventarios, sensores remotos y modelos, con una perspectiva de múltiples niveles (“tiers”) de incertidumbre en las estimaciones y su armonización espacial multi-escala.

La Figura 1 muestra en forma esquemática el concepto de los SIM, concebida con una visión hemisférica en América para diferentes calibrar y validar modelos y otros productos.

El enfoque de inventario “Multi-tier”: Observaciones Extensivas Ligadas a Sitios Intensivos



Birdsey, 2013

- Sensores remotos
- Red de parcelas de inventarios nacionales
- Sitios de medición intensivo

Todas ligadas con modelos a nivel ecosistema y modelos de contabilidad de C

Figura 1. Enfoque conceptual de los sitios intensivos de monitoreo.

De acuerdo a planteamientos del NACP (North American Carbon Program), a nivel terrestre, la propuesta consistió en el establecimiento de una red de conglomerados de muestreo tipo CONAFOR alrededor de la torre de EC, para caracterizar el paisaje. La Figura 2 muestra el diseño geométrico de distribución de conglomerados en un paisaje de 3 km x 3 km. El arreglo geométrico propuesto fue acoplado a las necesidades de información de los sitios (e.g. monitoreo de cronosecuencias), Figura 2.

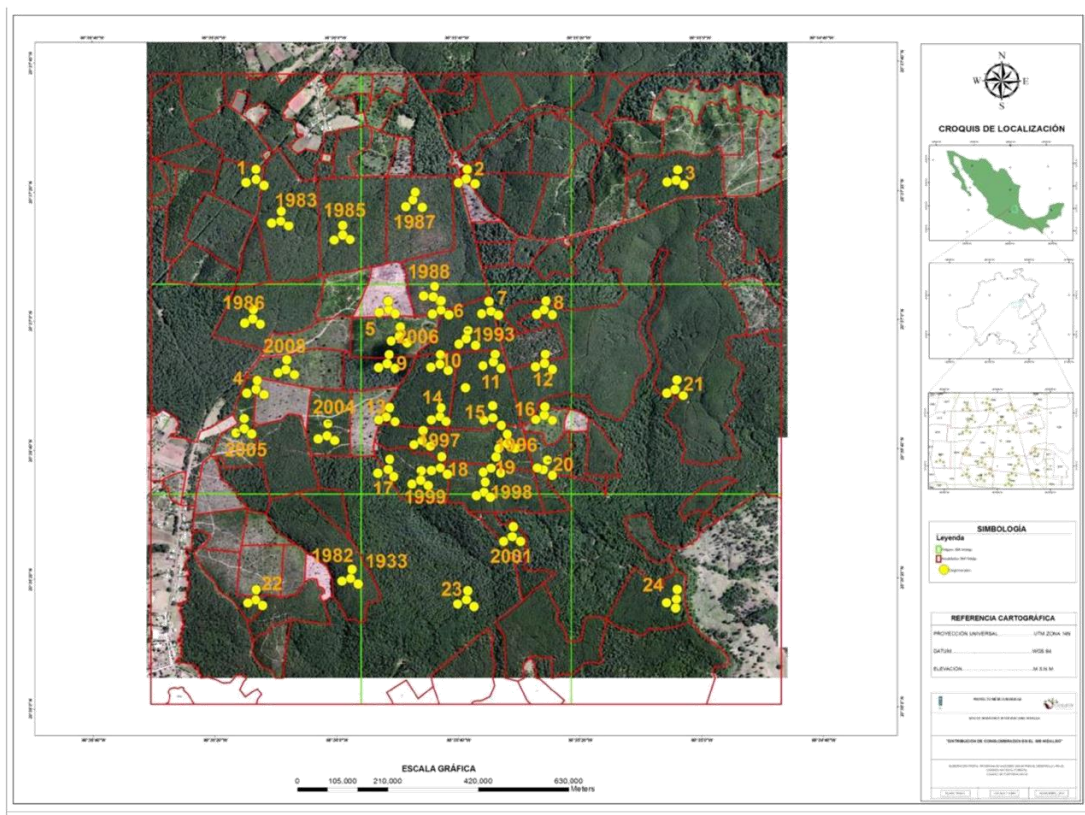
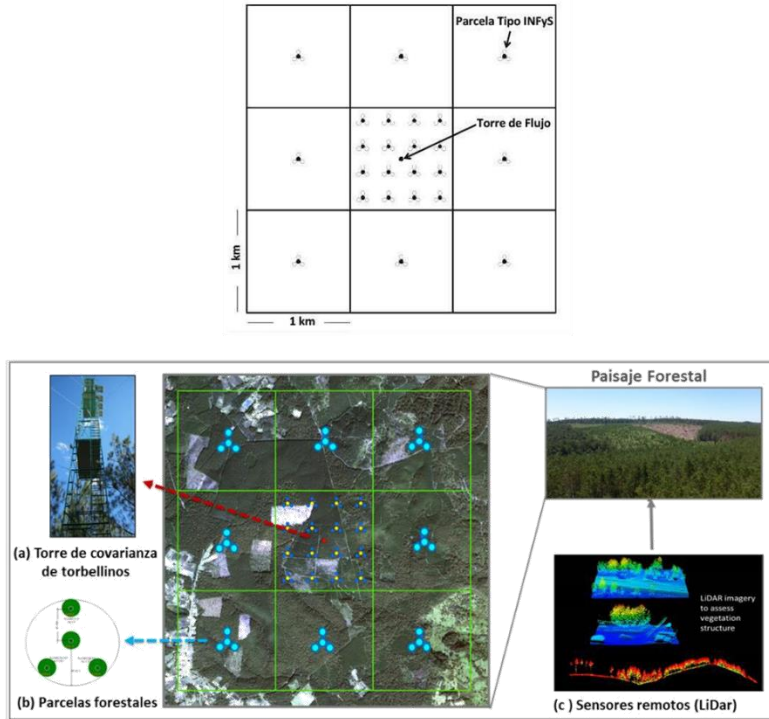


Figura 2. Adaptación de la red de mediciones para incorporar otros intereses (cronosecuencias).

En el 2012, CONAFOR a través del Proyecto “Fortalecimiento REDD y Cooperación Sur-Sur” (Proyecto México-Noruega) utilizó los esfuerzos de los SIM para la creación de la RED Mex-SMIC (Sitios de Monitoreo Intensivo del Carbono), bajo el supuesto de apoyar financieramente a la red de nueva creación. Así se estableció la red con 5 sitios, Figura 3, en su estado actual.

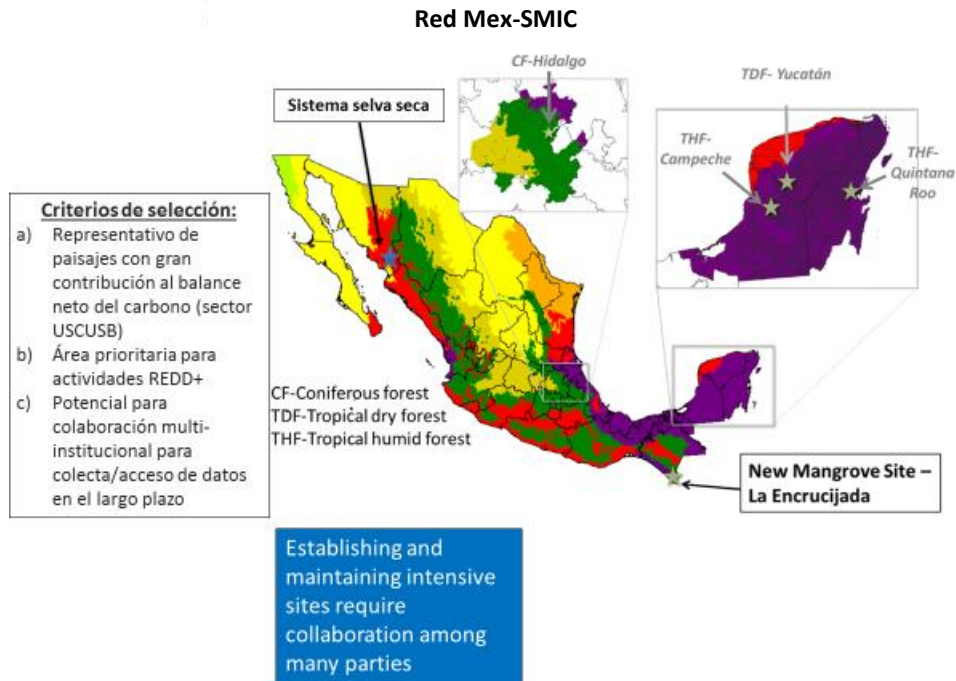


Figura 3. Sitios de la Red Mex-SMIC

En el proyecto de los sitios SIM estaba planeado que los sitios de la Red MexFlux se expandirían en sitios de monitoreo intensivo, aprovechando la experiencia y capacidades ya establecidas. Esta estrategia solo fue considerada para el sitio de Álamos, Sonora.

La Red MexFlux está traslapada con los objetivos de la Red MexFlux y PMC (Programa Mexicano del Carbono), y planteada con objetivos muy ambiciosos que no reflejan necesariamente el planteamiento original de intereses de los grupos de investigación en sus sitios.

Independientemente de los trabajos realizados de investigación que tenían su propia lógica y estaban en función de los grupos de investigación, la operación de las torres de EC ha sido problemática.

Los SIM originales ya tenían trabajos previos y una visión de integración de enfoques, por lo que la incorporación de torres de EC era algo bienvenido, para complementar sus objetivos. No obstante lo anterior el agregar objetivos a otras escalas a la Red Mex-SMIC obedeció más a los intereses del Proyecto México-Noruega.

Una de las ventajas de la Red Mex-SMIC ha sido el establecimiento de protocolos comunes en los sitios (Figura 4), para avanzar en el tema de interoperabilidad; aunque solo en estos sitios. El caso de las mediciones de flujos con los sistemas EC es tarea pendiente en este objetivo.

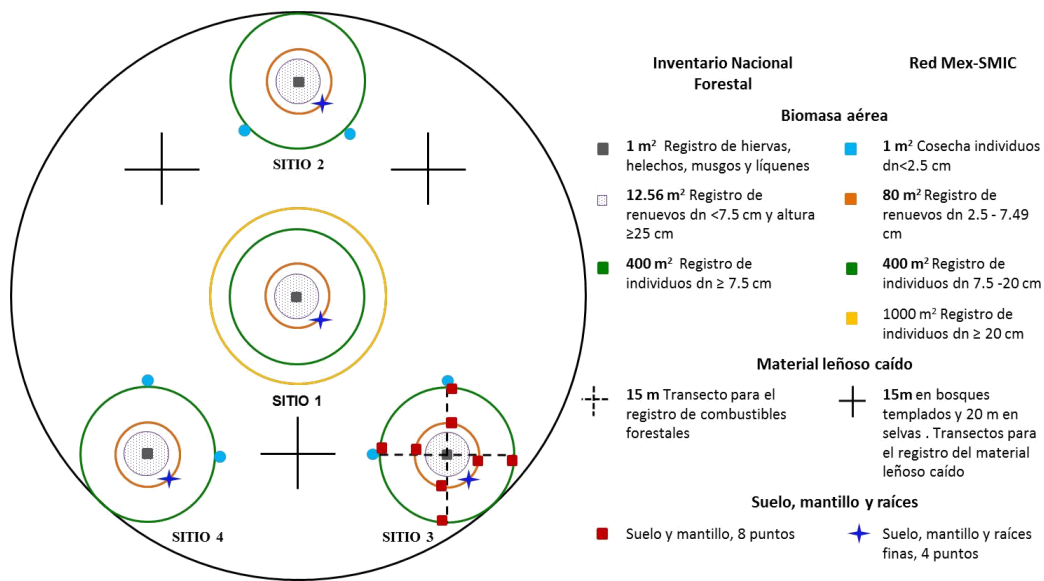


Figura 4. Protocolo asociado al establecimiento de sitios de medición y su geometría de Mex-SMIC.

1.2 Red MexFlux

La Red MexFlux está conformada por grupos de investigación asociados a sitios con torres de medición de flujos con la técnica de EC (Eddie Covariance). La experiencia mexicana en mediciones de flujos con EC tiene alrededor de 30 años en el Noroeste de México (particularmente mediciones de flujos de vapor de agua, calor sensible, radiación neta y demás componentes del balance de energía) y en la última década se han incorporado algunos sitios adicionales.

MexFlux tiene una propuesta de planeación científica orientada a la generación de diferentes objetivos específicos, Figura 5.

En lo general, los objetivos de MexFlux son los mismos que los del área temática Atmosfera del Comité Científico del PMC, donde la coordinación de esta área es realizada por miembros de MexFlux. El historial de cooperación del PMC y MexFlux es largo, dado que ambos colectivos tienen intereses comunes e interactúan entre sí.

Uno de los principales problemas planteados por la Red MexFlux es el relativo a la interoperabilidad de las mediciones. Aunque MexFlux ha planteado protocolos y estrategias para implementar prácticas de interoperabilidad, estas todavía no han sido implementadas por diferentes razones.

MexFlux tiene una distribución geográfica de sitios de monitoreo mostrada en la Figura 6, con algunos sitios en operación o planeados no mostrados (*e.g.* Querétaro).

La Red MexFlux opera en función de los intereses de los investigadores principales (IP) y de sus fuentes de financiamiento, por lo que es necesaria su consolidación operativa como colectivo.

Objetivos específicos en las investigaciones de la red MexFlux.

- 1- Cuantificar la variación espacial y temporal del almacenamiento de carbono y los intercambios de gases de efecto invernadero, vapor de agua y energía en los principales ecosistemas terrestres, costeros, marinos y urbanos de México.
- 2- Comprender los mecanismos que regulan la dinámica de gases de efecto invernadero, así como los vínculos entre la concentración atmosférica de estos gases, el flujo de energía en el ecosistema, y los ciclos biogeoquímicos del carbono, el agua, y el nitrógeno a través de experimentos observacionales y manipulativos, y modelos de procesos de ecosistemas.
- 3- Generar una base de datos histórica de alta calidad para análisis a nivel de sitio, y para actividades de síntesis a nivel regional y global.
- 5- Apoyar y guiar los esfuerzos individuales de nuevos investigadores interesados en establecer nuevos sitios de monitoreo de flujos de masa y energía.
- 6- Investigar métodos adicionales y/o alternativos para cuantificar almacenes de carbono y flujos de gases de efecto invernadero en otros componentes del ecosistema (ej., suelo, columna de agua).
- 7- Evaluar y certificar el funcionamiento de los instrumentos en cada sitio del consorcio mediante campañas de comparación con instrumentos y procedimientos de referencia.

Figura 5. Objetivos específicos de la red MexFlux.

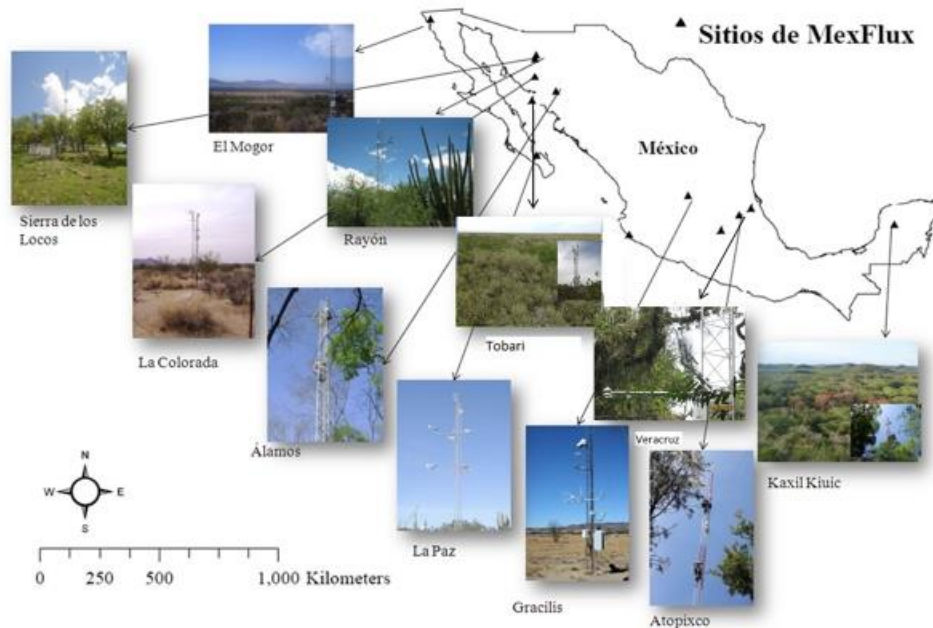


Figura 6. Red de sitios de monitoreo de la red MexFlux.

1.3 Programa Mexicano del Carbono

Desde su fundación en el 2005, el Programa Mexicano del Carbono (PMC) ha orientado su quehacer en el desarrollo de una plataforma general para el desarrollo de la ciencia del carbono y sus interacciones en México, orientada a generar los elementos para políticas públicas en la temática. En esta perspectiva, en el 2008 publicó la primera versión de su Plan Científico (Figura 7), apoyado por el entonces Instituto Nacional de Ecología – hoy INECC, con el objetivo de definir una hoja de ruta para responder a las preguntas de investigación planteada.



Figura 7. Plan Científico del Programa Mexicano del Carbono.

El planteamiento del Plan Científico consiste, en lo general, de las siguientes tareas:

- Recopilación y generación de datos para poder realizar síntesis nacionales, considerando la variabilidad espacial y temporal de los almacenes y flujos.
- Recopilación y generación de datos de experimentos para poder parametrizar y sintetizar conocimiento en términos de modelos teóricos y/o empíricos, para poder generar escenarios prospectivos asociados a posibles políticas públicas.
- Fusión de datos y modelos para sintetizar el conocimiento, así como la generación de modelos de diagnóstico.
- Generación de datos espacialmente explícitos, por regiones o país, para sintetizar en sistemas de información geográfica áreas de oportunidad o debilidad para intervenciones de políticas públicas.
- Generación de escenarios sobre cursos de acción para retroalimentar el desarrollo de políticas públicas en relación a acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.
- Sintetizar, armonizar y hacer entendible el conocimiento generado para el desarrollo de políticas públicas o acciones de intervención por los tomadores de decisiones a diferentes escalas de incidencia.

Con el interés en conocer la dinámica espacio-temporal del ciclo del carbono y sus interacciones, en el Plan Científico se planteó la creación de una Red de Sitios de Paisajes (24 sitios), Figura 8, para el

desarrollo de ciencia y conocimiento para entender la variabilidad del carbono y los efectos de las perturbaciones, entre otras cosas.

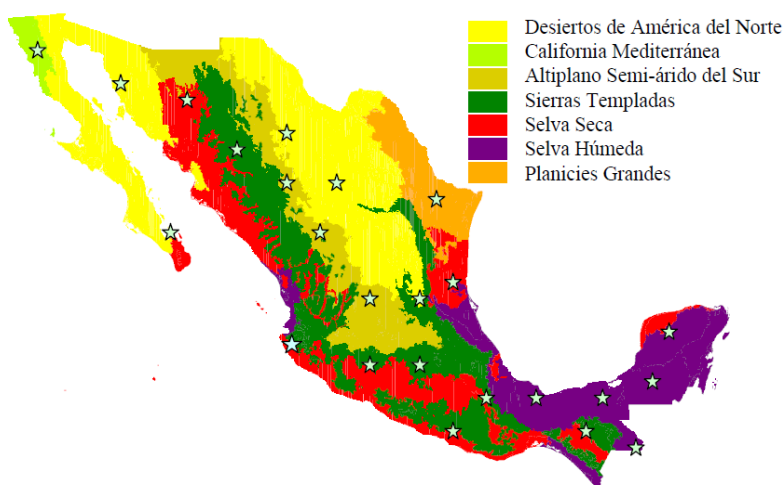


Figura 8. Red de Sitios de Paisajes para la implementación del Plan Científico del PMC.

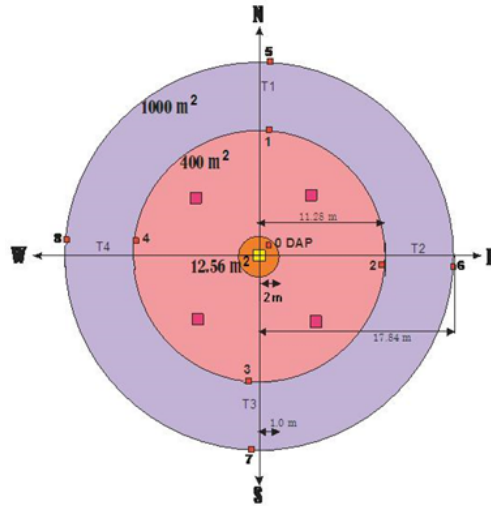
La red de paisajes planteada fue propuesta como un esquema colaborativo con grupos de investigación trabajando en los sitios y para contar con suficiente heterogeneidad en los usos del suelo y dinámicas del carbono para generar conocimiento a escala nacional usando enfoques regionales. La red incluyó sitios con torres de covarianza de vórtices.

El Plan Científico del PMC es un instrumento de planeación que está siendo instrumentado actualmente por el colectivo y que ha servido de base para múltiples proyectos e iniciativas. La principal limitación en la implementación del Plan Científico ha sido la falta de recursos financieros y las limitaciones de datos existentes en México.

En relación al acoplamiento de inventarios locales con el nacional, desde la perspectiva del carbono, y en particular de los monitoreos comunitarios, el PMC desarrolló un esquema de complementariedad y fusión de información bajo las siguientes bases:

- Planteamiento de parcelas de monitoreo de 1,000 m²; armonizadas a las del INFyS, con algunas variantes para recolección de información adicional. No se consideraron conglomerados de 4 sitios del INFyS, dado que el efecto de escala podía determinarse de éste, reduciendo los costos de los monitoreos.
- Reducción de información de los monitoreos aprovechando la información del INFyS. Un ejemplo es la no inclusión de la altura del arbolado en los monitoreos, dadas las incertidumbres y complejidades de las mediciones en sitios con alta cobertura, realizando estimaciones de esta variable en función de las áreas de las copas y DAP (diámetro a la altura del pecho) disponibles en el INFyS.

La Figura 9 muestra el esquema de las parcelas o sitios de monitoreo a escala regional o local.



	Sólo en el espacio entre el círculo de 1000 m ² (Radio = 17.84m) y el de 400 m ² (área de color azul), se tomará información de árboles con diámetro normal mayor a 20cm, poniendo especial atención en que la forma de vida y porte de los individuos sea propia de un árbol.
	Sitio de 400m ² (Radio = 11.28m) para medir árboles con diámetro normal mayor a 7.5cm, poniendo especial atención en que la forma de vida y porte de los individuos sea propia de un árbol. Por ejemplo, debe diferenciarse un árbol que en su etapa joven tiene un crecimiento arbustivo (por ejemplo un encino) de los arbustos típicos. En este sitio también se obtiene información de arbustos.
	Subsitio de 12.56m ² (Radio = 2m) para registrar renuevo: elementos con diámetro <7.5cm y altura >= 50cm poniendo especial atención en que la forma de vida y porte de los individuos sea efectivamente de árboles o arbustos. Por ejemplo, un renuevo de <i>Quercus</i> que en esa etapa tiene un porte arbustivo, finalmente llegará a ser un árbol. En este sitio también se obtiene información de arbustos.
	Subsitio de 1 m ² (L = 1 m) para el registro de hierbas, helechos, musgos y líquenes.
	Transectos de muestreo de 15m para registrar información de materia orgánica muerta sobre la superficie (combustibles).
	Puntos de registro de materia orgánica muerta sobre la superficie (combustibles)
	Puntos de registro de mantillo y suelo.
	Subsitio de 1 m ² (L = 1 m), 4 muestras en forma representativa, 1 por cuadrante, donde se registra el estrato herbáceo con enfoque ganadero (requerimiento de S.AGARPA).

Figura 9. Diseño del sistema de monitoreo del carbono en enfoques regionales o locales.

Los manuales de campo, y de planeación, fueron generados para distintos usos del suelo y han sido actualizados para inventarios estatales.

Un punto importante en los monitoreos de sitios cuantitativos (similares a los sitios del INFyS) es el relativo a definir la tendencia e historia de cambios para definir puntos en cronosecuencias (Figura

10) que permitan aproximar la dinámica temporal del carbono y generar aproximación en modelos como los METs (Modelos de Estados y Transiciones).

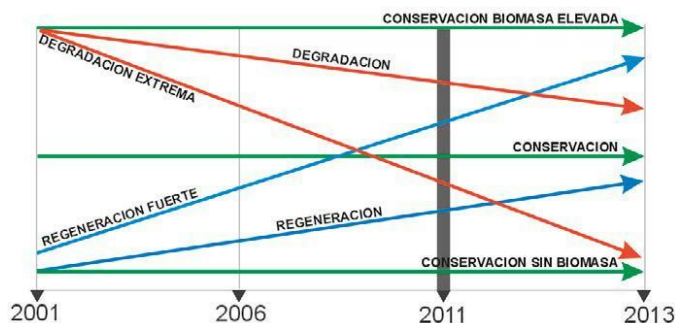


Figura 10. Definición de tendencias en cronosecuencias de sitios cuantitativos.

En relación al uso de conocimiento e información de las comunidades, se planteó un esquema de monitoreos semi-cuantitativos para su uso por las comunidades y con requerimientos de solo entrenamiento básico. En la Figura 11, por ejemplo, se muestra el caso de mediciones del diámetro basal (área basal) usando relascopios, para estimar el DAP (diámetro a la altura del pecho) en forma rápida. Algo similar fue hecho para todos los almacenes de carbono definidos por el IPCC. Los monitoreos comunitarios o semi-cuantitativos fueron diseñados para su implementación en tiempos cortos (aproximadamente 15 minutos), con el objetivo de tener muchos, aunque con menor precisión que los monitoreos cuantitativos. Para la implementación de los monitoreos semicuantitativos se generaron manuales de campo y se dio entrenamiento a brigadas comunitarias.

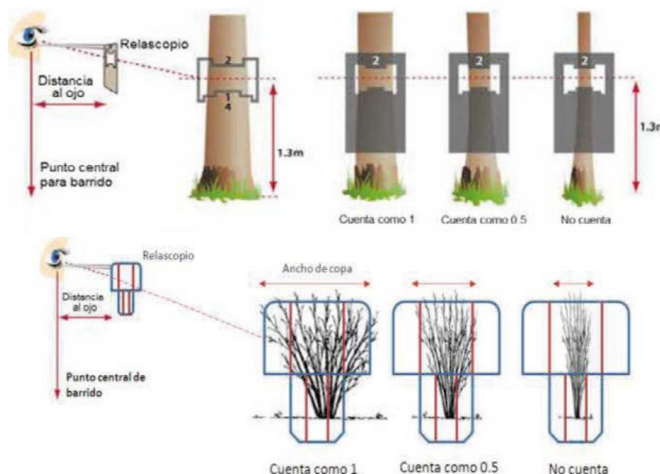


Figura 11. Estimaciones de DAP y áreas de copas (arbustos) del monitoreo semicuantitativo.

En todos los sitios de mediciones cuantitativas siempre se realizaron mediciones semicuantitativas (mediciones pareadas), para poder evaluar las incertidumbres de este esquema en relación a las

mediciones clásicas o cuantitativas. Usando el marco de la geoestadística bayesiana indicadora, se generaron esquemas de fusión de información en las estimaciones de carbono, conservando las incertidumbres de cada fuente de información, de tal forma que se armonizaron las escalas locales (monitoreo comunitario), estatal de bajo costo y el INFyS.

El desarrollo de mediciones cuantitativas y semicuantitativas fue implementado en seis comunidades de la Sierra Madre de Chiapas y a nivel estatal (2,501 sitios), usando estrategias de muestreos dirigidos y de cronosecuencias. La Figura 12 muestra la distribución de los sitios del inventario estatal realizado por el PMC en el 2011.

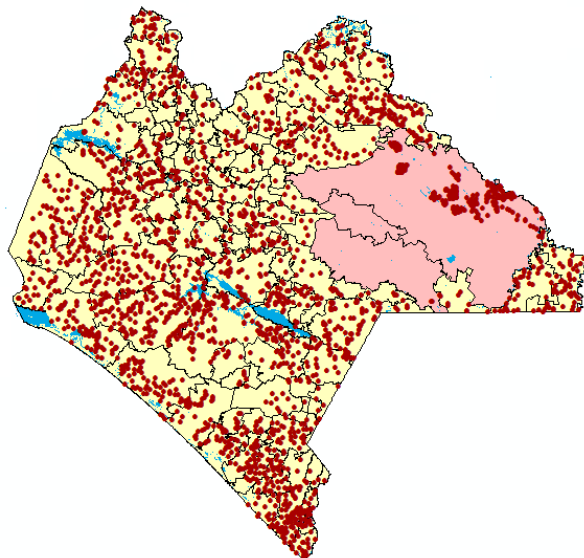


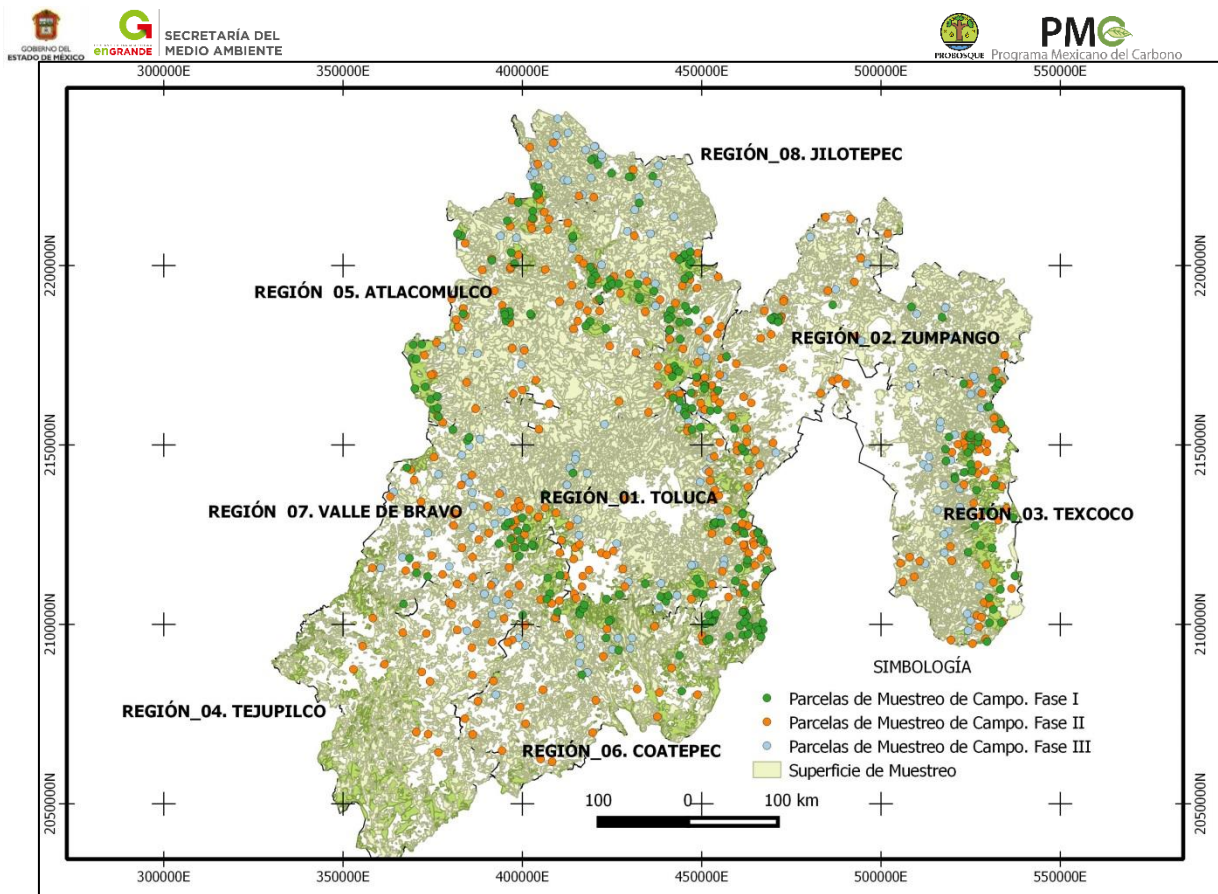
Figura 12. Distribución de sitios de muestreo del inventario estatal de Chiapas en el 2011.

Adicionalmente, en el 2015 se realizó un inventario en el Estado de México con enfoque similar al de Chiapas, estableciéndose 736 sitios de muestreo cuantitativos, más muestreos semi-cuantitativos asociados. La Figura 13 muestra la localización de los sitios de muestreo del inventario estatal.

Todos los árboles en los sitios de muestreos están georeferenciados usando el azimut y distancia radial al centro, por lo que son sitios permanentes para su remediación posterior. En el centro de cada sitio se enterró una varilla de acero.

La Figura 13 muestra la distribución espacial de los sitios de muestreo en el Estado de México, usando un enfoque de gradientes de perturbación y cronosecuencias, permitiendo obtener una primera aproximación a la dinámica del carbono en los ecosistemas terrestres del estado.

El caso estudio de Chiapas y el Estado de México permiten analizar el enfoque de muestreos dirigidos en relación con los sistemáticos estratificados (INFyS y estatales), además del efecto de escala al utilizar parcelas de muestreo de 1,000 m² anidadas a las de 400 m².



Programa Mexicano del Carbono (PMC). Organismo coordinador de investigaciones relacionadas con los aspectos físicos, geoquímicos, biológicos y sociales del ciclo del carbono en México.

No se permite la reproducción total o parcial, ni la transmisión de ninguna forma o medio impreso o electrónico de esta publicación, sin el permiso previo de la institución. <http://pmcarbono.org/>

Figura 13. Distribución de sitios de muestreo del inventario estatal del Estado de México

1.4 Red de Sitios Permanentes de Muestreo en Paisajes Productivos Forestales de la ENAIPROS

La CONAFOR, como parte de la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad (ENAIPROS) financio la Red de Sitios Permanentes de Muestreo en Paisajes Productivos Forestales (RSPMPPF), con el objetivo de contar con un sistema de seguimiento de la estrategia y generar conocimiento forestal orientado a incrementar la producción y productividad de los paisajes productivos forestales.

El sistema de muestreo/monitoreo consiste en parcelas de 50 m x 50 m, Figura 14, establecidas como sitios permanentes. Los componentes de muestreo de la red de sitios permanentes son: dasometría, regeneración natural y suelos.

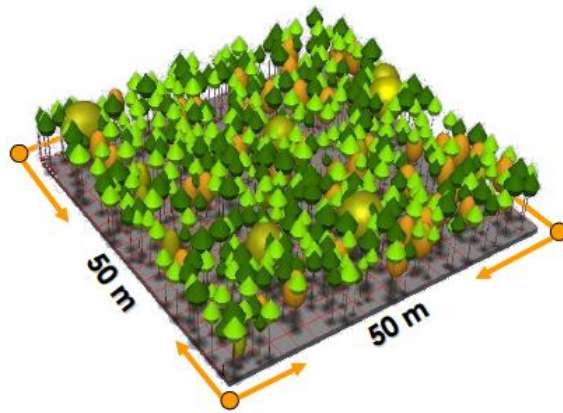


Figura 14. Parcela de muestreo de los sitios permanentes de la red de la ENAIPROS.

La componente de dasimetría está orientada a la medición de las características del arbolado, compatible con las mediciones del INFyS, donde los arboles individuales están marcados y geoposicionados geográficamente. La componente de regeneración natural se mide en cuatro subparcelas de 5 m x 5 m, Figura 15 y los suelos en cuatro puntos, Figura 15.

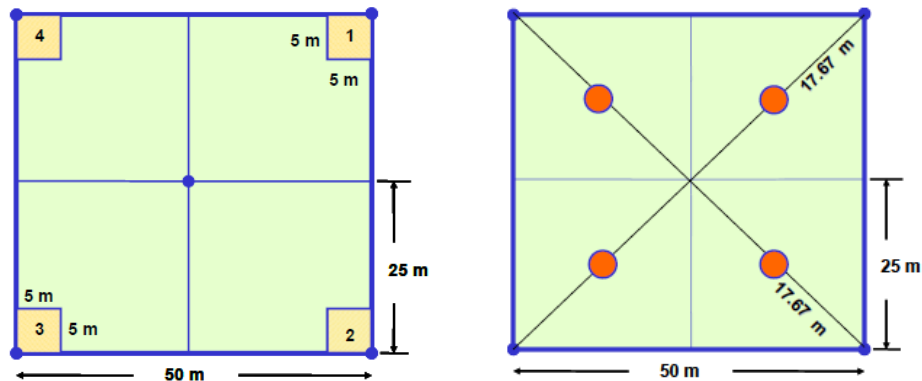


Figura 15. Localización de las subparcelas de muestreo de la componente regeneración natural (izquierda) y sitios de muestreo de suelos (derecha).

Las mediciones de los suelos son realizadas hasta la profundidad de 30 cm, con mediciones de materia orgánica y nutrientes a las profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm, dada la orientación de la red hacia caracterización de la producción y productividad forestal.

La Figura 16 muestra los horizontes del suelo que son caracterizados por la red.

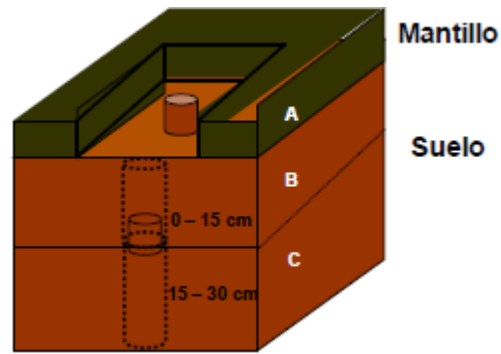


Figura 16. Horizontes del suelo caracterizados en los puntos de medición de las parcelas de la red.

La red de la ENAIPROS cuenta con 3,358 sitios distribuidos en los estados de Durango, Chihuahua, Jalisco, Ciudad de México, México, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Campeche y Quintana Roo (Figura 17).

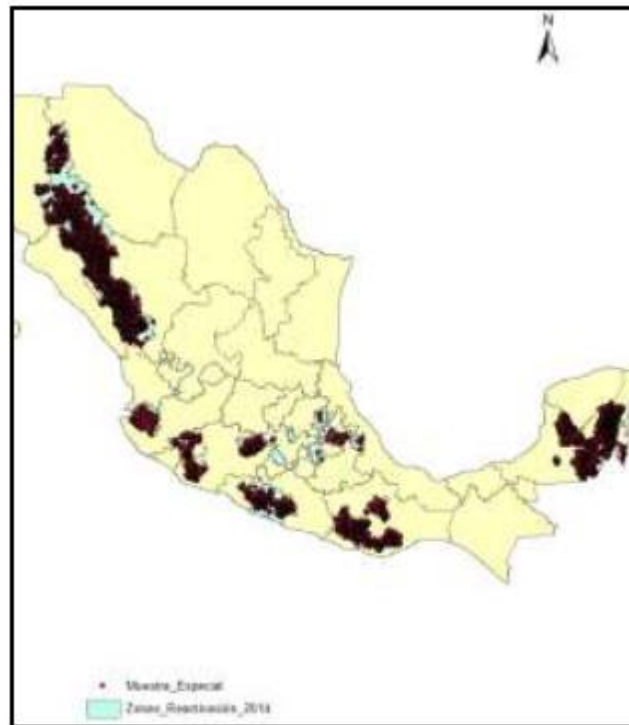


Figura 17. Distribución geográfica de los sitios de la red de la ENAIPROS.

La red de sitios de la ENAIPROS está distribuida en forma compatible con la localización de los conglomerados del INFyS, por lo que puede usarse para inventarios estatales o nacionales.

La Red de Sitios Permanentes de Muestreo en Paisajes Productivos Forestales de la ENAIPROS, en su estrategia de remediciones, considera la generación de información y conocimiento orientado a modelos forestales de tipo dinámico, además de incorporar parcelas con diferentes tratamientos silvícolas. En este sentido, la red tiene una visión clara del uso de los datos de medición desde su concepción.

Desafortunadamente no todos los almacenes de carbono son medidos en las parcelas de la red (e.g. material leñoso caído), pero pueden incorporarlos fácilmente.

1.5 Red Mexicana de Paisajes Asociados al Carbono y sus Interacciones del PMC

La Red Mexicana de Paisajes Asociados al Carbono y sus Interacciones (REMPACI) es una propuesta del PMC (Red Temática del CONACYT) planteada en el 2016 y propuesta en el plan de trabajo aprobado por CONACYT para el 2017.

La propuesta se planteó para institucionalizar los esfuerzos de sitios de proyectos y coordinarse en un planteamiento nacional, dejando los detalles de su estructuración concreta para el 2017. Un punto central de la iniciativa es hacer sinergia con los esfuerzos existentes, bajo el principio de complementariedad y sinergia, para mejorar su eficacia y eficiencia; y, por el otro lado, fundamentar la iniciativa en las múltiples experiencias del PMC en relación con la implementación de su Plan Científico.

Un punto crítico planteado como fundamento para la creación de la red es el relativo al aprovechamiento de recursos y tiempos de las escuelas/facultades de múltiples instituciones del país con interés en el tema (ecología, biología, agricultura, ganadería, forestal, etc.) de tal forma que los paisajes sirvan para que los estudiantes realicen sus prácticas y desarrollen tesis, con un soporte científico de miembros del PMC asociados a los profesores e investigadores de las instituciones locales. De esta forma se busca aprovechar recursos ya disponibles en un esquema de institucionalizar esfuerzos y contribuir a un proyecto nacional integral.

Un objetivo primario es la realización de alianzas estratégicas con las redes y grupos de investigación con proyectos activos, para la búsqueda de convergencias en una perspectiva de un solo proyecto nacional, con múltiples aristas, que genere sinergias y estructure esfuerzos hacia un fin común: avanzar en el conocimiento de México.

En su primera etapa, la red está concebida a ser implementada en ecosistemas terrestres, pero se espera a futuro expandirla a ecosistemas acuáticos (costeros y marinos; la parte de humedales/manglares está considerada en la primera etapa).

La estrategia general para la implementación de la REMPACI es:

- Implementación progresiva en función de resultados, intereses y financiamientos disponibles.
- Desarrollo de un plan nacional estratégico y operativo para la red de tipo multi-institucional, multi-escala, multi-nivel, multi-funcional y multidisciplinario.

- La focalización inicial es hacia el carbono (y su dimensión social; además de bioenergía y atmosfera), pero se espera en el corto plazo incluir agua y biodiversidad, principalmente.
- Hacer sinergia y consolidar esfuerzos actuales, siempre y cuando sean viables de integración y estén basados en resultados.
- El desarrollo de nuevos paisajes será en función de intereses institucionales y su soporte, además de que será progresiva la implementación.
- Desarrollo por fases de capacidades de implementación y soporte: una primera fase centralizada, con algunas descentralizaciones y segunda fase totalmente descentralizada; lo anterior para garantizar resultados concretos e incentivar fuentes de financiamiento.
- Los paisajes estarán concebidos como “escuelas de campo” para generación de capacidades locales.
- Los paisajes deberán tener soporte gubernamental a nivel comunidades (apoyos de CONAFOR, SAGARPA, etc.), para incentivar su participación en el desarrollo de información y conocimiento útiles a las instituciones de gobierno (para incentivar su apoyo a nivel básico de sus programas – e.g. pagos por servicios ambientales)
- Integrar la REMPACI con otras, más allá de un solo sector (e.g. forestal), particularmente con iniciativas de SAGARPA (proyecto en curso entre INIFAP-PMC). También se incluye la integración con la Redes Temáticas del CONACYT y otras redes profesionales y científicas.
- Los paisajes de la red deberán tener soporte institucional (universidades o centro de investigación) definido como áreas para el desarrollo de prácticas y tesis (además de investigación), con un esquema de asesoría integral.
- Los paisajes deberán ser heterogéneos y estar asociados a comunidades, para tener representaciones de la realidad de los usos de la tierra en el país, además de entender las acciones humanas y sociales sobre la dinámica de cambios. Se busca mapear la realidad de los territorios mexicanos y no sitios solo prístinos sin intervención.
- Se buscará institucionalizar financiamiento a corto, medio y largo plazo para los paisajes usando fuentes nacionales (CONAFOR, SAGARPA, CNA, CONACYT, etc.) e internacionales; particularmente en esquemas basados en resultados.

2. DIAGNOSTICO GENERAL DE EXPERIENCIAS, PROYECTOS Y ENFOQUES

De la revisión realizada, además de múltiples documentos asociados, resultan claros algunos puntos del diagnóstico general:

- a) Hay múltiples iniciativas y proyectos con objetivos traslapados y que no hacen sinergia entre sí, desperdiciando recursos y tiempo.
- b) Los proyectos/redes tienen objetivos que no están completamente armonizados entre las diferentes escalas y actores que intervienen. Muchos de ellos son proyectos locales, con intereses particulares, que crecieron sin tener un respaldo de capacidades para hacerlo.
- c) La mayoría de los proyectos son altamente dependiente de los investigadores principales y no están institucionalizados, haciéndolos altamente vulnerables a problemas de financiamiento o cambio de intereses.

- d) La mayoría de proyectos han crecido en función de coyunturas de financiamiento, particularmente en el caso de la instalación de torres de EC.
- e) Las agencias de apoyo (principalmente del gobierno federal), en lo general no tienen claro la utilidad de las iniciativas y sus requerimientos son más del tipo coyuntural para justificar proyectos en curso.
- f) No hay una coordinación nacional efectiva y eficaz en los esfuerzos emprendidos, más allá de declaraciones y buenas intenciones.
- g) La investigación realizada, en muchos casos, no tiene una visión claramente definida.
- h) Persisten los problemas de interoperabilidad y complementariedades entre las diferentes redes e iniciativas.
- i) Los resultados de los esfuerzos de investigación no son claros para las fuentes de financiamiento actuales ni futuras. No hay un esfuerzo de poner los resultados en acciones concretas o elementos para toma de decisiones, resultando difícil de justificar financiamientos, más allá de objetivos científicos y no armonizados e integrados.
- j) Las coyunturas de financiamiento han provocado que las iniciativas, redes y proyectos se adapten a sus planteamientos, con una visión reducida en relación a un proyecto integral más allá de estas circunstancias.

México cuenta con una masa crítica de investigadores para generar nuevo conocimiento y establecer proyectos ambiciosos que posicionen al país a nivel de liderazgo y participación activa en iniciativas nacionales e internacionales. No obstante lo anterior, muchos planteamientos son “más de lo mismo”, manteniendo una fuerte dependencia del conocimiento y experiencia de actores internacionales y ejecutar trabajo de “mano de obra barata”

La parte de síntesis y modelación de procesos es claramente faltante en muchos proyectos, concretándose a descripciones de información y caracterizaciones asociadas. Es urgente contar con una iniciativa que tenga clara la visión de integración de la información que se esté generando, orientada a metas con objetivos para generar elementos para políticas públicas, corregir errores metodológicos, ampliar fronteras del conocimiento, entre otras cosas.

Los recursos financieros son escasos, por lo que es necesario la integración de iniciativas más allá de coyunturas de corto plazo, de otra manera solo se desfasará la muerte de los proyectos.

3. ELEMENTOS BÁSICOS DEL PLAN CIENTÍFICO

Los elementos básicos del plan científico propuesto parte de dos conceptualizaciones que requieren ser armonizadas: desde lo nacional a lo local y de lo local a lo nacional. En la perspectiva nacional, el INFyS define el contexto para armonizar esfuerzos de sitios de monitoreo intensivos y en la local, los SMIC son el extremo asociado a lo local.

3.1 Perspectiva de lo nacional a lo local

El INFyS usa una estrategia de muestreo sistemático y estratificado usando insumos de mapas de uso del suelo y vegetación del INEGI a escala 1:250,000. El conglomerado de la CONAFOR (1 ha) parte de 4 sitios de muestreo de 400 m² distribuidos en una “Y” invertida. Este inventario es la base de todo el sistema de monitoreo del país y deben armonizarse los esfuerzos de otros sistemas para hacerlos compatibles con éste. Los inventarios forestales y de suelos estatales usan la misma estrategia de muestreo que el INFyS, pero densificando la malla espacial de muestreo.

Para ligar los esfuerzos nacionales y estatales (inventarios) con los locales (Mex-SMIC y MexFlux) es necesario analizar los supuestos de los diseños de muestreo y métodos de estimación para poder utilizar la experiencia en métodos simplificados y de bajo costo, pero robustos en las estimaciones de los almacenes y flujos de carbono. La gran mayoría de las bases de la implementación actual del INFyS, así como los estatales, y del SMIC parte de supuestos que no se han validado. Al respecto, las preguntas de investigación, y proyectos asociados, son:

- a) ¿Cuáles son los efectos de escala en las estimaciones asociadas a los conglomerados del INFyS y los inventarios estatales? La situación de conglomerados con menos de 4 sitios de muestreo de 400 m² plantea un efecto de escala que se ha propuesto minimizar al utilizar estimadores de razón, que requieren del cumplimiento de sus hipótesis básicas para que sean insesgados. El análisis nacional de diferentes estimadores para minimizar los efectos de escala debe ser revisado y fundamentado en evidencia experimental del INFyS y los inventarios estatales, para definir una metodología sólida y aplicable a los ecosistemas terrestres de México.
- b) ¿Cuál es el efecto de escala asociado a diferentes dimensiones de los sitios de muestreo de los conglomerados del INFyS y los inventarios estatales? El análisis nacional (casos de los estados de Chiapas y México – inventarios del PMC) permitiría contar con bases sólidas para definir estimadores y estrategias de muestreo para analizar el efecto de las probabilidades de intersección de árboles grandes en función de las dimensiones de los sitios de muestreo, generando las bases para el uso de estimadores robustos. Asimismo, el análisis del uso de conglomerados tipo INFyS *versus* sitios de 1,000 m², caso de los inventarios de Chiapas y México y de los conglomerados de Mex-SMIC, permitirá el desarrollo de estrategias de muestreo estatales y regionales más costo-efectivas, sin pérdida de la confiabilidad de las estimaciones.
- c) ¿Cuál el efecto de escala del diseño de arreglos muestrales del INFyS y los inventarios estatales en función de los mapas de uso del suelo y vegetación a escala 1:50,000? El análisis de los efectos de escala asociados al uso de insumos de planeación 1:50,000 en la estimación de los almacenes de carbono permitirá establecer criterios de confiabilidad relacionados con la hipótesis de arreglos muestrales sobre zonas aparentemente homogéneas de vegetación.
- d) ¿Variabilidad espacial y temporal de las mediciones? El análisis de la variabilidad espacial y temporal de los inventarios disponible permitiría establecer bases sólidas para el diseño de nuevas estrategias de muestreo a escala nacional, estatal y de sitios (incluida la red de la ENAIROS).

3.2 Perspectiva de lo local a lo nacional

El INFyS fue diseñado a una escala de visión de planeación y no asociada directamente a la escala local donde las políticas ambientales (*e.g.* REDD+) están planeadas a instrumentarse. La Red Mex-SMIC, y otros esfuerzos, fueron planeados para generar información a escala local, armonizándola a la nacional. La tarea es compleja dadas las escalas de intervención y requieren de metodologías armonizadas y que aprovechen al máximo la información nacional para simplificar los enfoques locales de inventarios y monitoreos.

El diseño muestral de los sitios Mex-SMIC siguen el arreglo del INFyS con conglomerados, introduciendo una parcela de 1,000 m² en el sitio 1. En relación con las hipótesis básicas del arreglo espacial de conglomerados del INFyS, Mex-SMIC retoma las mismas, sin validarlas en función de su efectividad y robustez a escala local, haciendo costoso el monitoreo intensivo de sitios. El escalamiento de lo local a lo nacional requiere de esquemas que optimicen la información disponible y conocimiento para el desarrollo de estrategias costo-efectivas de monitoreo orientadas a las necesidades de la CONAFOR, y otras instituciones. Al respecto, las preguntas de investigación, y proyectos asociados, son:

- a) ¿Cuáles son los efectos de escala en las estimaciones asociadas a los conglomerados del SMIC a la escala de paisaje, en función de la heterogeneidad del mismo? La heterogeneidad del paisaje determina la confiabilidad de las estimaciones usando muestreos sistemáticos y estratificados en relación con el uso de muestreos dirigidos. El análisis de variabilidad espacial del paisaje en los sitios Mex-SMIC permitirá definir la confiabilidad de las estimaciones a esta escala.
- b) ¿Cuál es la representatividad espacial de las estimaciones del carbono en almacenes y flujos en relación con la escala estatal, regional y nacional? La propagación de la incertidumbre de las escalas locales a la estatal, regional y nacional condiciona su uso en forma integral en los esfuerzos más allá de lo local y define su viabilidad en la armonización de diferentes fuentes de información y escala.
- c) ¿Cuál es el mejor enfoque de muestreo dirigido a caracterizar la dinámica del carbono en los ecosistemas terrestres? El enfoque del INFyS y los inventarios estatales utiliza un esquema pasivo multi-temporal de medición que requiere remedir los almacenes de carbono en el tiempo, generando espacios de falta de información para el desarrollo de políticas públicas a corto plazo. El enfoque de muestreos dirigidos y en cronosecuencias (algunos de los sitios de la SMIC) permitirá el desarrollo de modelos y generación de escenarios de políticas de intervención a escala local, siempre y cuando este enfoque este orientado hacia ese fin.

3.3 Perspectiva de la integración de escalas

Aunque es posible el desarrollo de múltiples proyectos de investigación para acoplar las diferentes escalas de los inventarios y monitoreos, dadas las inversiones y esfuerzos actuales algunos puntos críticos a considerar en el desarrollo del proyecto son:

- a) Desarrollo de una estrategia metodológica para la integración o fusión de información multi-fuente y multiescala, que permita integrar datos de sensores remotos, de inventarios,

de modelos y de monitoreos comunitarios. El principio de este desarrollo deberá ser la conservación de la incertidumbre de las diferentes fuentes y escala, para no realizar estimaciones sobre valoradas.

- b) Desarrollo de esquemas de monitoreos comunitarios acoplados a los estatales y nacional, usando métodos de fusión de información multi-fuente y multiescala, para el desarrollo de un sistema nacional multiescala armonizado y con esquemas de propagación de incertidumbre en función de las fuentes.
- c) Desarrollo de esquemas de monitoreo dirigidos a la caracterización de la heterogeneidad de los paisajes y la modelación de la dinámica de los almacenes.
- d) Revisión de las estimaciones de flujos con sistemas de EC en función de los “footprints” de las mediciones y la heterogeneidad de los paisajes asociados.
- e) Desarrollo de métodos de imputación espaciales usando enfoques no lineales de estimación y múltiples fuentes de información y escala, para evitar sobre estimaciones de los almacenes y flujos. Los métodos deberán seguir los desarrollos de la metodología de fusión de información multi-fuente y multiescala a desarrollar.
- f) Desarrollo de sitios de calibración y validación de productos satelitales, usando un enfoque de armonización espacio-temporal de las mediciones. Un ejemplo de esto es el uso de vuelos de drones para mediciones de reflectancias (e imágenes digitales para estimación de coberturas aéreas), datos de radar, lidar e infrarrojo térmico, principalmente.
- g) Desarrollo de estrategias de monitoreo orientadas a la síntesis y modelación de la dinámica del carbono en función de los requerimientos de los modelos seleccionados a implementar, para no generar información costosa y de bajo impacto en las modelaciones.
- h) Desarrollo e implementación de modelos, simples y complejos, que caractericen la dinámica del carbono y permitan su uso en la generación de escenarios asociados a políticas de intervención a escala local y de paisaje. Los modelos deberán ser definidos en función de la información disponible y la posible a obtener a corto plazo y bajo consideraciones de costo-efectividad.

Adicionalmente a las actividades propuestas, los productos definidos en los Términos de Referencia definen el marco de integración general del proyecto.

3.4 Experimento de escalamiento de flujos y simplificación de las mediciones de los sistemas EC

El uso de sistemas de EC para la medición de flujos requiere de estimaciones en función del área de influencia dinámica o “fooprint” de lo que mide el sistema, definiendo una escala espacio-temporal que está definida por la altura del sistema de medición y la dirección e intensidad de los vientos, principalmente. En este sentido, la extensión de las mediciones de flujos a dimensiones espaciales de la escala de paisaje requiere del diseño de estrategias alternativas. Un posible desarrollo es el uso combinado de un sistema de EC con un scintilometro (flujos de calor sensible) usando funciones de estructura (covarianzas). Adicionalmente, dado el carácter multiescalante de la función de estructura de las mediciones del sistema de EC, el desarrollo de esquemas que permitan reducir las necesidades de la intensidad temporal de las mediciones permitiría la implementación de sistemas de EC a bajo costo en el país. En esta perspectiva, los proyectos siguientes permitirán expandir los alcances espaciales de los sistemas de EC:

- a) Experimento de footprint para el acoplamiento de un sistema combinado de EC y scintilometría en un sitio donde este ya instrumentado y sea de bajo costo la implementación del proyecto.
- b) Análisis y desarrollo de esquemas de caracterización de las funciones de estructura de las mediciones de EC para reducir los requerimientos de información y costos de implementación de los sistemas de EC. Esto puede ser realizado usando los registros históricos de campaña de medición de flujos con sistemas de EC de sitios de MexFlux y Mex-SMIC.

3.5 Integración de redes de monitoreo del país y ampliación de coberturas espaciales

La integración de esfuerzos entre las diferentes redes y propuestas existentes en el país permitirá el desarrollo de una estrategia nacional representativa y de armonización de intereses entre el sector académico y de investigación con el gubernamental y de la sociedad civil. Los desarrollos, así como sus elementos constitutivos, propuestos son los siguientes:

- a) Red Mex-SMIC Original. Consolidar los sitios de la red, enfatizando los requerimientos de mediciones de flujos con sistemas de EC y la síntesis de conocimiento adquirido orientado a productos concretos de interés de la CONAFOR y otras instituciones.
- b) Red Mex-SMIC Adicional. Desarrollo e implementación de nuevos sitios para la Red Mex-SMIC bajo la consideración de su implementación progresiva y armonizada. Las consideraciones para los sitios adicionales son: solo establecimiento del sitio 1 (con modificaciones) de los conglomerados para el área de 1 km x 1 km del protocolo de la red; caracterización de paisajes de aprovechamiento forestal (Sitio La Ciudad y El Largo, además de Carrillo Puerto y Atopixco) y uso agroforestal (*e.g.* cafetales bajo sombra en el Sitio Cerro Bola de Chiapas); implementación de estrategias de monitoreo comunitario-profesional a través de organizaciones de productores (*e.g.* Cooperativa Comon Yaj Noptic del sitio Cerro Bola de Chiapas). Se espera que en medio plazo estos sitios adicionales cuenten con información similar a los sitios de la Red Mex-SMIC Original.
- c) Red MexFlux. Ampliación de los alcances de la Red MexFlux para incorporar la caracterización del paisaje (mismo esquema de monitoreo que la Red Mex-SMIC Adicional) e interpretar las mediciones de flujos de estos sitios. Un objetivo básico de la inclusión de los sitios de la Red MexFlux es caracterizar paisajes agropecuarios no incluidos en la Red Mex-SMIC, para contar con información y conocimiento de las dinámicas de cambio de ecosistemas ante efectos antropogénicos o climáticos. Se espera que en medio plazo estos sitios adicionales cuenten con información similar a los sitios de la Red Mex-SMIC Original.
- d) REMPACI. Se busca en el medio plazo la expansión de todos los sitios que sean adecuados a los criterios de la Red Mexicana de Paisajes Asociados al Carbono y sus Interacciones del PMC.

4. COORDINACION DE INTERESES CON LA CONAFOR

Los planteamientos del plan científico y de trabajo parten de la estrategia de generar información y conocimiento para la discusión de las metodologías actuales implementadas (INFyS, inventarios

estatales y monitoreo de la Red Mex-SMIC), para la realización de las adecuaciones pertinentes con base a evidencia experimental concreta.

El desarrollo de productos del proyecto será realizado bajo un esquema de coordinación estrecha con la CONAFOR, para atender a sus necesidades concretas, sin pérdida de la perspectiva científica de los desarrollos.

5. APORTACIONES DEL PROGRAMA MEXICANO DEL CARBONO

El Programa Mexicano del Carbono (PMC) aporta lo siguiente al proyecto:

- Capacidad administrativa para manejar proyectos nacionales e integrales.
- Amplia experiencia en el uso operativo de sensores remotos a escala estatal, regional y nacional bajo la perspectiva de bases teóricas y metodológicas sólidas.
- Experiencia teórica y de campo en la implementación de sistemas de monitoreo e inventarios locales, estatales, regionales y nacionales.
- Experiencia en inventarios nacionales y estatales de almacenes y flujos de carbono (GEI) de los ecosistemas terrestres.
- Bases de datos de las campañas de medición del carbono de los estados de Chiapas y México.
- Bases de datos de campañas de implementación de enfoques de monitoreo comunitario en Chiapas y Estado de México.
- Plataforma de desarrollo nacional para integración de esfuerzos bajo enfoques nacionales y de sinergias.
- Institucionalización de esfuerzos de grupos individuales a nivel nacional, bajo esquemas de cooperación y de integración.
- Capacidad de realización de campañas de campo en los sitios de monitoreo de Mex-SMIC y demás redes, bajo criterios de costo-efectividad.
- Acuerdos con redes nacionales para el desarrollo de proyectos conjuntos orientados a objetivos comunes.

6. BIBLIOGRAFÍA ASOCIADA

Aubinet, M., T. Vesala y Papale, D. 2012. Eddy covariance: a practical guide to measurement and data analysis. Springer Science & Business Media.

Baldocchi, D. 2014. Measuring fluxes of trace gases and energy between ecosystems and the atmosphere—the state and future of the eddy covariance method. *Global Change Biology* 20: 3600-3609.

Birdsey, R., G. Angeles, W. Kurz, A. Lister, M. Olgún, Y. Pan, C. Wayson, B. Wilson y K. Johnson. 2013. Approaches to monitoring changes in carbon stocks for REDD+. *Carbon Management* 4: 519-537.

- Bray, D. B., L. Merino, P. Negreros, G. Segura, J. M. Torres and H. F. Vester. 2003. Mexico's community-managed forests as a global model for sustainable landscapes. *Conservation Biology* 17:672-677.
- Casiano, M. and F. Paz. 2015. Modelos de estados y transiciones: una herramienta para el manejo sustentable de recursos naturales asociados al contenido de carbón. pp. 629-639. En: Paz, F., J. C. Wong y R. Torres A. (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A. C. y el Centro Internacional de Vinculación y Enseñanza de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Texcoco, Estado de México, México. ISBN: 978-607-96490-3-6. 702 p.
- Chapela, F. 2015. The challenge of crafting institutions for the commons: the case of community forestry support programs CONAFOR. 2010. Visión de México sobre REDD+: hacia una estrategia nacional. Comisión Nacional Forestal. Guadalajara, Jalisco, México
- CONAFOR. 2013. Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad 2013-2018 (ENAIPROS). CONAFOR, Zapopan, Jalisco.
- CONAFOR. 2014. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Nacional Forestal. Reporte Especial, CONAFOR. Zapopan, Jalisco.
- CONAFOR. 2015. Modelo de Intervención en las Áreas de Acción Temprana REDD+. CONAFOR, Zapopan, Jalisco.
- CONAFOR. 2016. Estrategia nacional para REDD+ (ENAREDD+). Comisión Nacional Forestal. Guadalajara, Jalisco, México.
- CONAFOR-SEMARNAT. 2014. National forest reference emission level proposal Mexico. Report prepared for United Nations Framework Convention on Climate Change. 48 p.
- CONAFOR-SEMARNAT. 2015. National forest reference remission level proposal Mexico (modified version). Report prepared for United Nations Framework Convention on Climate Change. 68 p.
- CONAFOR-UACH. 2013. Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final. Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma de Chapingo. Zapopan, Jalisco. 160 p.
- Corral-Rivas, J.J.; Vargas, B.; Wehenkel, C.; Aguirre, O.; Álvarez, J.; Rojo, A. 2009. Guía para el Establecimiento de Sitios de Inventario Periódico Forestal y de Suelos del Estado de Durango; Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango: Durango, México.
- Corral-Rivas J J., Vargas L.B., Wehenkel C., Aguirre C.O., Crecente F. 2013. Guía para el Establecimiento, Seguimiento y Evaluación de Sitios Permanentes de Monitoreo en Paisajes Productivos Forestales. CONAFOR
- Covaleda, S., F. Paz y A. Ranero. 2016. Carbono edáfico en Chiapas: planteamiento de políticas públicas de mitigación de emisiones. *Terra Latinoamericana* 34:97-112.

- Covalada, S., F. Paz, A. Ranero y T. Ramos. 2015. Desarrollo de escenarios de mitigación para intervención con políticas públicas asociadas a REDD+ y RETUS en Chiapas. pp. 574-778. En: Paz, F., J. C. Wong y R. Torres A. (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A. C. y el Centro Internacional de Vinculación y Enseñanza de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Texcoco, Estado de México, México. ISBN: 978-607-96490-3-6. 702 p.
- Covalada, S., F. Paz y B. de Jong. 2013. Parametrización de modelos de estados y transiciones para el carbono y caracterización de la incertidumbre. pp. 29-34. En: Paz, F., M. Bazan y V. Saynes (eds.). Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Sociedad Mexicana de Ciencias del Suelo. Texcoco, Estado de México,
- Dai, Z., R.A. Birdsey, K.D. Johnson, J.M. Dupuy, J.L. Hernandez-Stefanoni y K. Richardson. 2014. Modeling carbon stocks in a secondary tropical dry forest in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Water, Air and Soil Pollution* 225: 1925.
- Dai, Z., K.D. Johnson, R.S. Birdsey, J.L. Hernandez-Stefanoni y J.M. Dupuy. 2015. Assessing the effect of climate change on carbon sequestration in a Mexican dry forest in the Yucatan Peninsula. *Ecological Complexity* 24, 46-56.
- De Bruin, H.A.R., W. Kohsiek and B.J.J.M. Van den Hurk. 1993. A verification of some methods to determinate the fluxes of momentum, sensible heat, and water vapour using standard deviation and structure parameter of scalar meteorological quantities. *Boundary-Layer Meteorology* 63: 231-257
- de Jong, B., C. Anaya, O. Masera, M. Olguin, F. Paz, J. Etchevers, R. Martínez, G. Guerrero and C. Balbontin. 2010a. Greenhouse gas emissions between 1993 and 2002 from land-use change and forestry in Mexico. *Forest Ecology and Management* 260:1689-1701.
- Gebhardt, S., T. Wehrmann, M.A. Ruiz, P. Maeda, J. Bishop, M. Schramm, R. Kopeinig, O. Cartus, J. Kellndorfer, R. Ressler, L.A. Santos, M. Schmidt. 2014. MAD-MEX: Automatic Wall-to-Wall Land Cover Monitoring for the Mexican REDD-MRV Program Using All Landsat Data. *Remote Sensing* 6:3923-3943.
- González, L., J. D. Etchevers, F. Paz, F. Carillo, M. Acosta y A. Báez. 2016. Desempeño del modelo Rothc-26.3 a nivel parcela en México. *Terra Latinoamericana* 34:357-366.
- González, L., J. D. Etchevers, F. Paz, R. Valdez, J. M. González, and E. C. Moreno. 2010. Estimation of changes in soil organic carbon in hillside systems on a regional scale. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12:57-67.
- Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press. New York, USA

- Hernández-Stefanoni, J.L., J.M. Dupuy, K.D. Johnson, R. Birdsey, F. Tun-Dzul, A. Peduzzi, J.P. Caamal-Sosa, G. Sánchez-Santos y D. López-Merlín. 2014. Improving species diversity and biomass estimates of tropical dry forests using airborne LiDAR. *Remote Sensing* 6: 4741-4763.
- Hernández-Stefanoni, K. Johnson, B.D. Cook, J.L., J.M. Dupuy, R. Birdsey, A. Peduzzi y F. Tun-Dzul. 2015. Estimating species richness and biomass of tropical dry forests using LIDAR during leaf-on and leaf-off canopy conditions. *Applied Vegetation Science* 18(4): 724-732.
- Hill, R.J. 1989. Implications of Monin-Obukhov similarity theory for scalar quantities. *Journal of the Atmospheric Sciences* 46: 2236-2244
- Hollinger, D. 2008. Defining a Landscape-Scale Monitoring Tier for the North American Carbon Program. En: Hoover, C. (Ed.) *Field Measurements for Forest Carbon Monitoring*. Springer-NY, USA. pp 3-16.
- Hopkinson, C., Chasmer, L., Barr, A., Kljun, N., Black, T., & McCaughey, J. (2016). Monitoring boreal forest biomass and carbon storage change by integrating airborne laser scanning, biometry and eddy covariance data. *Remote Sensing of Environment*, 181, 82-95.
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. In: Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner (eds.). *Institute for Global Environmental Strategies (IGES)*.
- IPCC. 2006. Agriculture, forestry and other land use IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds.). Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. *Institute for Global Environmental Strategies*. Hayama, Japan.
- Kurz, W., C. Dymond, T. White, G. Stintson, C. Shaw, G. Rampley, C. Smyth, B. Simpson, E. Neilson, J. Trofymow and J. Metsaranta. 2009. CBM-CFS3: A model of carbon dynamics in forestry and land use change implementing IPCC standards. *Ecological Modelling* 220:480-504.
- Kurz, W.A., R. A. Birdsey, V. S. Mascorro, D. Greenberg, Z. Dai, M. Olguin and R. Colditz. 2016. *Integrated Modeling and Assessment of North American Forest Carbon Dynamics Technical Report: Tools for monitoring, reporting and projecting forest greenhouse gas emissions and removals*. Commission for Environmental Cooperation, Montreal, Canada.
- McGaughey, R. (2012). *FUSION/LDV: Software for LIDAR data analysis and visualization*. Version 3.10. USDA For. Serv. Pacific Northwest Res. Station. Seattle, Wash. Available from <http://www.fs.fed.us/eng/rsac/fusion/> [accessed June 2012].

- Mas, J. F., S. Couturier, J. Paneque, M. Skutsch, A. Pérez, M. A. Castillo and G. Bocco. 2016. Comment on Gebhardt et al. MAD-MEX: Automatic Wall-to-wall land cover monitoring for the Mexican REDD-MRV program using all Landsat data. *Remote Sens.* 2014,6,3923-3943. *Remote Sens.* DOI:10.3390/rs8070533.
- Mascorro, V.S., N.C. Coops, W.A. Kurz, y M. Olguín. 2014. Choice of satellite imagery and attribution of changes to disturbance type strongly affects forest carbon balance estimates. *Carbon Balance and Management* 10:30.
- Mascorro, V.S., N.C. Coops, W.A. Kurz, y M. Olguín. 2015. Attributing changes in land cover using independent disturbance datasets: a case study of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Regional Environmental Change* 16: 213-228.
- Mex-SMIC. 2016. Protocolo para la estimación de la dinámica del carbono forestal en sitios de medición intensiva: un enfoque multi-escala. Proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, CONAFOR, Red Mex-SMIC, 143pp
- Montaño, N. M., F. Ayala, S. H. Bullock, O. Briones, F. García, R. García, Y. Maya, Y. Perroni, C. Siebe, Y. Tapia, E. Troyo y E. Yopez. 2016. Almacenes y flujos de carbono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: síntesis y perspectivas. *Terra Latinoamericana* 34:39-59.
- Murray, G. M., P. Friedlingstein, S. Sitch, V. J. Jaramillo, F. Munguia, A. Anav, Y. Liu, A. Arneeth, A. Arvanitis, A. Harper, A. Jain, E. Kato, C. Koven, B. Poulter, B. D. Stocker, A. Wiltshire, S. Zaehle and N. Zeng. 2016. The carbon cycle in Mexico: past, present and future of C stocks and fluxes. *Biogeosciences* 13:223-238.
- Olguín, M., W. Kurz, B. de Jong, F. Paz, G. Ángeles, C. Zermeño y R. Flores. 2012. Hacia el uso del modelo CBM-FS3 a escala nacional en México: proyecto piloto Chiapas. pp. 108-115. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de México y el Instituto Nacional de Ecología.* Texcoco, Estado de México, México. ISBN 978-607-715-085-5. 887 p.
- Olguín, M., C. Wayson, V. Maldonado, D. López, R. Birdsey, G. Ángeles, J.L. Andrade, J. Arreola, J.L. Hernández, J.M. Dupuy, K. Johnson, L. Esparza, B. Méndez, G. Sánchez, J.P. Caamal, O. Carrillo. 2015. Consideraciones para una propuesta de colaboración a largo plazo de la Red Mex-SMIC y CONAFOR. Proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, CONAFOR, Red Mex-SMIC, USFS, SilvaCarbon. 16 p.
- Olguín, M., W.A. Kurz, C. 2016. Wayson, M. Fellows, V. Maldonado, D. López-Merlín, O. Carrillo y G. Ángeles. Estimating past and projected future GHG emissions. CEC. Commission for Environmental Cooperation. En: *Integrated Modeling and Assessment of North American Forest Carbon Dynamics: Tools for monitoring, reporting and projecting forest greenhouse gas emissions and removals.* Kurz, W., R.A. Birdsey, V.S. Mascorro, Z. Dai, D. Greenberg, M. Olguin y R. Colditz. Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Canadá.

- Ortiz-Reyes, A.D., J.R. Valdez-Lazalde, H.M. de los Santos-Posada, G. Ángeles-Pérez, F. Paz-Pellat y T. Martínez-Trinidad. 2015. Inventario y cartografía de variables del bosque con datos derivados de LiDAR: comparación de métodos. *Madera y Bosques* 21: 111-128.
- Paz, F. 2010. Evaluación, importancia y perspectivas de la captura de carbono y reducción de emisiones de gases efecto invernadero en pastizales y matorrales: hacia la implementación de REDD++. pp. 7-22. En: Velasco, M. E., M. Salvador, M. L. Adriano, R. A. Perezgrovas y B. Sánchez (eds.). *Memorias del I Congreso Internacional de Pastizales Chiapas 2010*. SOMMAP. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Paz, F. 2012. Una visión integral de territorio y su planeación ante el cambio climático: RETUS (Reducción de Emisiones de Todos los Usos del Suelo). pp. 712-726. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de México y el Instituto Nacional de Ecología. Texcoco, Estado de México, México. ISBN 978-607-715-085-5. 887 p.
- Paz, F. 2015. ¿Es suficiente evaluar “datos de actividad x factores de emisión = emisiones” en mecanismos tipo REDD+ o RETUS? pp. 471-477. En: Paz, F. and J. C. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México. ISBN 978-607-96490-2-9. 640 p.
- Paz, F. 2015. Servicios ambientales integrales del bosque: carbono, agua y biodiversidad – más allá de REDD+. pp. 173-197. En: Villavicencio, A. A. (ed.). *Los Pagos por Servicios Ambientales: Intercambio de experiencias de la Red Iberoamericana de PSA*. El Colegio de Michoacán. Zamora, Michoacán.
- Paz, F. y S. Covalada. 2015. Modelos de estados y transiciones (METs) compuestos para la modelación anual de la dinámica del carbono. pp. 301-307. En: Paz, F. y J. C. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México. ISBN 978-607-96490-2-9. 640 p.
- Paz, F., C. Balbontín, J. Etchevers, M. Martínez y C. Ortiz. 2008. Análisis multifractal del carbono en los suelos 1. Función universal de escalamiento. *Terra Latinoamericana* 26:183-191.

- Paz, F., C. Balbontín, J. Etchevers, M. Martínez y C. Ortiz. 2009. Análisis multifractal del carbono en los suelos 2. Divergencia de momentos estadísticos. *Terra Latinoamericana* 27:257-264.
- Paz, F., C. Balbontín, J. Etchevers, M. Martínez y C. Ortiz. 2010. Análisis multifractal del carbono en los suelos 3. Estimaciones escalantes. *Terra Latinoamericana* 28:89-95.
- Paz, F., J. Argumedo, C. O. Cruz, J. D. Etchevers and B. de Jong. 2016. Distribución especial y temporal del carbono orgánico del suelo en los ecosistemas terrestres. *Terra Latinoamericana* 34:289-310.
- Paz, F., S. Covalada y J. Etchevers. 2014. Distribución del carbono orgánico en los diferentes tamaños de partículas del suelo: modelo simple de cinética lineal. *Terra Latinoamericana* 32:127-142.
- Paz, F., S. Covalada, C. Hidalgo, J. Etchevers y F. Matus. 2016. Modelación simple y operativa de la distribución del carbono orgánico por fracciones físicas en los suelos. *Terra Latinoamericana* 34:321-337.
- Paz, F., S. Covalada, J. Etchevers and B. de Jong. 2015. Modelos de la dinámica temporal del carbono orgánico de los suelos asociada a cambios de uso del suelo en ecosistemas forestales. pp. 285-290. En: Paz, F. and J. C. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México. ISBN 978-607-96490-2-9. 640 p.
- Ran, Y., Li, X., Sun, R., Kljun, N., Zhang, L., Wang, X., & Zhu, G. (2016). Spatial representativeness and uncertainty of eddy covariance carbon flux measurements for upscaling net ecosystem productivity to the grid scale. *Agricultural and Forest Meteorology*, 230, 114-127.
- Santiago, W., H.M. de los Santos, G. Ángeles, J.R. Valdez, J.J. Corral, G. Rodríguez y E. García. 2015. Modelos de crecimiento y rendimiento de totalidad del rodal para *Pinus patula*. *Madera y Bosques* 21(3): 95-110.
- Soriano, Ma. de los A., G. Ángeles, T. Martínez, F.O. Plascencia y R. Razo. Aboveground biomass estimation by structural component in Zacualtipán, Hidalgo, Mexico. *Agrociencia* 49: 423-438.
- Perez-Ruiz, E.R., J. Garatuza-Payan, C.J. Watts, J.C. Rodriguez, E.A.Yepez y R.L. Scott. 2010. Carbon dioxide and water vapor exchange in a tropical dry forest as influenced by the North American Monsoon System (NAMS). *Journal of Arid Environments* 74: 556-563.
- Tian, Y., Wang Y., Zhang Y., Knyazikhin, Y., Bogaert J. y Minen, R.B., 2002, Radiative transfer based scaling of LAI retrievals from reflectance data of different resolutions, *Remote Sens. Environ.*, 84: 143-159.
- Tinoco, J. A., J. Etchevers, F. Paz and M. Olguín. 2012. Uso del modelo CBM-FS3 para la simulación de la dinámica del carbono en la Sierra Mazateca de Oaxaca. pp. 448-453. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). *Estado Actual del*

- Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de México y el Instituto Nacional de Ecología. Texcoco, Estado de México, México. ISBN 978-607-715-085-5. 887 p.
- Van Kesteren, B., O.K. Hartogensis, D. van Dinther, A.F. Moene and H.A.R. De Bruin. 2012. Measuring H₂O and CO₂ fluxes at field scales with scintillometry: Part I-Introduction and validation of four methods. *Agricultural and Forest Meteorology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.013>
- Van Kesteren, B., O.K. Hartogensis, D. van Dinther, A.F. Moene and H.A.R. De Bruin. 2013. Measuring H₂O and CO₂ fluxes at field scales with scintillometry: Part II-Validation and application of 1-min flux estimates. *Agricultural and Forest Meteorology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.01.010>
- Vargas, R., D. Alcaraz, R. Birdsey, N. A. Brunzell, C. O. Cruz, B. de Jong, J. Etchevers, M. Guevara, D. J. Hayes, K. Johnson, H. W. Loescher, F. Paz, Y. Ryu, Z. Sanchez and K. P. Toledo. 2016. Enhancing interoperability to facilitate implementation of REDD+: case study of Mexico. Submitted as an Policy Focus for Carbon Management.
- Vargas, R., E. A. Yepez, J. L. Andrade, G. Angeles, T. Arredondo, A. E. Castellanos, J. Delgado B., J. Garatuza P., E. Gonzales del Castillo, W. Oechel, J. C. Rodriguez, G. A. Sanchez A., E. Velasco, E. R. Vivoni and C. Watts. 2013. Progress and opportunities for monitoring greenhouse gases fluxes in Mexican ecosystems: the MexFlux network. *Atmósfera* 26:325-336.
- Vargas, R., F. Paz and B. de Jong. 2013. Quantification of forest degradation and belowground carbon dynamics: ongoing challenges for monitoring, reporting and verification activities for REDD+. *Carbon Management* 4:579-582.
- Vargas, R., H. W. Loescher, T. Arredondo, E. Huber S., R. Lara L. and E. A. Yépez. 2012. Opportunities for advancing carbon cycle science in Mexico: toward a continental scale understanding. *Environmental Science and Policy* 21:84-93. DOI:10.1016/j.envsci.2012.04.003.
- Verduzco V.S., Garatuza-Payan J., Yepez E.A. Watts C.J., Rodriguez J.C., Robles-Morua A., Vivoni E.R. 2015 Variations of Carbon Exchanges due to Seasonal Precipitation Differences in a Tropical Dry Forest of Northwest Mexico. *Journal of Geophysical Research – Biogeosciences* 120 (10): 2081-2094

Reportes técnicos Red Mex-SMIC

- Ángeles-Pérez G., B. Méndez-López, R. Valdez-Lazalde, F. Plascencia-Escalante, H. de los Santos Posadas, G. Chávez, A. Ortiz, M. Soriano-Luna, Z. Zaragoza, E. Ventura, A. Martínez, C. Wayson, D. López, M. Olguín, O. Carrillo, V. Maldonado. 2016. Estudio de caso del Sitio de Monitoreo Intensivo del Carbono en Hidalgo. Reporte Técnico

para el Proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, CONAFOR. Montecillos, Estado de México, 105 p.

Caamal J.P., J. M. Dupuy, J.L. Andrade, J.L. Hernández, A. Huechacona, M. Tamayo, C. Wayson, M. Olguín, D. López, V. Maldonado, O. Carrillo, L. Vázquez. 2016. Estudio de caso del Sitio de Monitoreo Intensivo del Carbono en Yucatán. Reporte Técnico para el Proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, CONAFOR. Mérida, Yucatán, 89 p.

Esparza L., N.A. González, I. Pérez, M.A. Hass, J.Y. Sima, D. Alvarez. 2016. Estudio de caso del Sitio de Monitoreo Intensivo del Carbono en Campeche. Reporte Técnico para el Proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, CONAFOR. Campeche, Campeche, 41 p.

Sánchez G., J.A. Arreola, D. López, C V. Maldonado, M. Olguín, Wayson, O. Carrillo, R. Puc. 2016. Estudio de caso del Sitio de Monitoreo Intensivo del Carbono en Qintana Roo. Reporte Técnico para el Proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, CONAFOR. Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, 133 p.

Sánchez-Mejía Z.M., Vargas R., Olguín M., Tovilla C., Infante-Mata D., Birdsey R., Wayson C. 2015. Establish an eddy covariance system at the Intensive Carbon Monitoring Site (SMIC, Sitio de Monitoreo Intensivo de Carbono) La Encrucijada Biosphere Reserve, Chiapas México. Technical Report UDEL/CONAFOR. 30pp.

Tovilla C., J.C. de la Presa, D. Infante, D. López, V. Maldonado, J. P. Caamal, M. Olguin, C. Wayson. 2016. Estudio de caso del Sitio de Monitoreo Intensivo del Carbono en Chiapas. Reporte Técnico para el Proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, CONAFOR. Tapachula, Chiapas, 43 p.