INFORME FINAL
Y SEGUNDA ENTREGA DE ACTIVIDADES DEL ESTUDIO

"DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE APOYO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA GESTIÓN DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA EJIDOS DE XOCHIMILCO Y SAN GREGORIO ATLAPULCO, A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN DE DATOS LIDAR, ASÍ COMO SU INCORPORACIÓN EN EL SIG-PAOT"

PROCURADURÍA AMBIENTAL Y DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL DISTRITO FEDERAL

CONVOCATORIA No. IA-909024988-N5-2015

Consultores en Gestión Política y
Planificación Ambiental S.C. (GPPA)

Diciembre de 2015

Consultores en Gestión, Política y Planificación Ambiental, S.C.

Enfrentamos con pasión y responsabilidad los retos y paradigmas del desarrollo sustentable

ÍNDICE

1	Presentación	3
2	Introducción	6
3	Antecedentes	7
4	Objetivo General	10
5	Objetivos Específicos	10
6	Justificación	11
7	Plan de Trabajo aprobado	12
8	Resultados: Herramientas de análisis espacial	14
	8.1 Conceptualización y descripción de las herramientas de análisis espacial	14
	8.2 Incorporación al SIG-Xochimilco de la herramienta Descarga.	21
	8.3 Incorporación al SIG-Xochimilco de la herramienta Vistas.	23
	8.4 Incorporación al SIG-Xochimilco de la herramienta Consulta por Punteo.	26
	8.5 Prueba de funcionamiento y entrega de la Memoria Técnica de las herramientas	27
9	Resultados: Productos cartográficos de alta precisión derivados de datos LIDAR	28
	9.1 Elaboración y análisis de la capa actualizada de asentamientos humanos dentro del ANP.	8
	9.2 Elaboración y análisis de la capa actualizada de canales dentro del ANP.	53
	9.3 Entrega de shapes de los productos cartográficos de alta precisión	55
10	Resultados: Capacitación al personal involucrado en el manejo de SIG	56
	10.1 Descripción de la capacitación	56
	10.2 Documentales de la capacitación	59
	ANEXOS	

1. PRESENTACIÓN

Por medio de la Convocatoria Número IA-909024988-N5-2015, en agosto de 2015, la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT) del Distrito Federal convocó la realización del estudio denominado*: "Desarrollo de herramientas de apoyo para la toma de decisiones en la gestión del Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (ANP-EXSGA), a partir de la interpretación de datos LIDAR, así como su incorporación en el SIG-PAOT"*.

Concluidos en tiempo y forma los procedimientos legales previos, el 31 de agosto del 2014 mediante el fallo correspondiente, la empresa Consultores en Gestión, Política y Planificación Ambiental S.C. (GPPA), asumió la responsabilidad de cumplir con los objetivos del estudio establecidos en la convocatoria.

Este documento es el Informe Final y la Segunda Entrega de los Productos comprometidos en la licitación referida, que realiza GPPA a la PAOT para dar cumplimiento al compromiso de presentar los resultados finales del estudio, conforme la metodología que se describió en el Plan de Trabajo presentado por GPPA y aprobado por la PAOT, para el logro de los objetivos referidos. Como resultados finales se documenta tanto la incorporación y el correcto funcionamiento dentro del SIGP-Xochimilco de las herramientas de análisis espacial conceptualizadas y descritas en la primera entrega de productos, así como la entrega de la Memoria Técnica respectiva y de los productos cartográficos de alta precisión derivados del post-procesamiento de los datos LIDAR proporcionados por la PAOT; con la aprobación de los interlocutores técnicos designados por la PAOT; asimismo se documenta la realización de la capacitación del personal involucrado en el manejo del SIG, conforme los acuerdos previos correspondientes.

Productos de segunda entrega de actividades establecidos en la Convocatoria

1. Implementación de las herramientas dentro del SIGP-Xochimilco, entregándose funcionando dentro del sistema e incluyendo su memoria técnica, la cual se apegará a lo establecido en el Anexo A, la cual será previamente revisada y aprobada por la PAOT.

2. Productos cartográficos de alta precisión, derivados del post-procesamiento de datos LIDAR:

   a) Capa actualizada de asentamientos humanos dentro del ANP-EXSGA: Actualización de asentamientos irregulares dentro del ANP, con una clasificación en construcciones permanentes (viviendas, otras instalaciones) y temporales (sombreaderos, invernaderos, otras). Formato: *Shape* con metadatos acorde a los requerimientos del SIG-PAOT.

   b) Capa actualizada de la red de canales del ANP-EXSGA. Actualización de la red de canales caracterizándolos para determinar cuáles están en funcionamiento. Formato: *Shape*, con metadatos acorde a los requerimientos del SIGP-PAOT.

3. Documento que incluirá el análisis de la información cartográfica generada a partir del procesamiento de datos LIDAR.

4. Documentales que avalen que se llevó a cabo la capacitación al personal que defina la (de 10 a 15 personas con el perfil establecido), que esté involucrado en el manejo del Sistema de Información Geográfica.

Cronograma del Estudio

Actividades	Sep	Oct	Nov	Dic
Actualización del Plan de Trabajo				
Diseño conceptual del desarrollo de las tres herramientas de análisis espacial.				
Elaboración del informe con el diseño conceptual de las herramientas de análisis espacial del SIGP-Xochimilco, validado por el Responsable técnico de PAOT.				
Elaboración de los temarios de los cursos para el manejo de la información LIDAR.				
Primera entrega de actividades (Informe de Avance)				
Implementación de las herramientas dentro del SIGP-Xochimilco.				
Periodo de pruebas en el sistema				
Elaboración de los productos cartográficos de alta precisión derivados del post-procesamiento de datos LIDAR.				
Impartición de los dos cursos sobre el manejo de datos LIDAR				
Elaboración del Informe Final del estudio				
Elaboración la Memoria Técnica de las herramientas desarrolladas				
Segunda entrega de actividades (Informe Final)				

2. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de su competencia, la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (PAOT), tiene interés especial en la comprensión del origen, evolución y situación actualizada de la problemática ambiental y territorial provocada por el hundimiento del suelo y el deterioro ecológico en del Area Natural Protegida de Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (ANP-EXSGA), así como en sus implicaciones sociales. A fin de apoyar la búsqueda de alternativas de solución para esta problemática, la PAOT ha creado como parte de su Sistema de Información Geográfica del Patrimonio Ambiental y Urbano (SIG-PAOT); un SIG participativo de Xochimilco (SIG-Xochimilco), elaborado a partir de una compilación de información documental y cartográfica georreferenciada sobre la zona chinampera y de humedales del sur oriente del Distrito Federal, el cual incluye un levantamiento topográfico completo y detallado así como un Modelo Digital de Elevación del Terreno del ANP-EXSGA, generados por la PAOT en el año 2014 con la tecnología denominada LIDAR por sus siglas en inglés (Ligth Detection and Ranging).

Para continuar ese esfuerzo, la PAOT consideró pertinente en 2015 la realización del estudio denominado*: "Desarrollo de herramientas de apoyo para la toma de decisiones en la gestión del Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (ANP-EXSGA), a partir de la interpretación de datos LIDAR, así como su incorporación en el SIG-PAOT"*, para contar con instrumentos de apoyo para la toma de decisiones en la gestión del ANP y cartografía de alta precisón a partir de la interpretación especializada de datos LIDAR, para su incorporación al SIG-Xochimilco, como elementos que queden a disposición de tomadores de decisiones, académicos y público en general, a fin de fortalecer de esta manera la capacidad institucional propia, de la sociedad y del gobierno digital de la Ciudad de México.

3. ANTECEDENTES

A partir del año 2012, la PAOT ha ha realizado una serie de acciones secuenciales e interrrelacionadas para actualizar y conceptualizar la problemática ambiental de la zona lacustre dentro del territorio de la Delegación Xochimilco, con énfasis en el Area Natural Protegida con categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica denominada Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (ANP-EXSGA); a partir de lo cual, con un enfoque integral y consecuente, diseñar e implementar instumentos de informática y sistemas de información geográfica orientados a cambiar el paradigma actual en la toma de decisiones ambientales relacionadas con dicha problemática; estos esfuerzos institucionales, antecedentes de esta convocatoria, han sido los siguientes:

- 2012: Taller Seminario "*Temas Ambientales*"; con base en el juicio de expertos en geomorfología, hidrología, dinámica del agua subterránea, calidad del agua, chinampería tradicional y ecología de humedales, se elaboró un diagnóstico de tendencias y propuestas sobre el hundimiento en el ANP-EXSGA, con el apoyo del Programa de Desarrollo Institucional y Ordenamientos Ecológicos Ambientales de la SEMARNAT.

- 2013: Licitación Pública Nacional Abierta Mixta No. LA-909024988-N1-2013 para el estudio: *"Elaboración de un SIG participativo de la zona chinampera para identificar los riesgos relacionados con la afectación de la calidad del agua y los hundimientos en Xochimilco*", cuyo objetivo fue diseñar e implementar la fase inicial de una herramienta de informática para concentrar, difundir, publicar y descargar información espacial y documental útil para la planificación, gestión y manejo ambiental de la zona chinampera, así como apoyar a los tomadores de decisiones y a la sociedad de lo que ocurre en ANP-EXSGA, a través de un lenguaje visual digital. Con financiamiento del Programa para la procuración y cumplimiento de la normatividad ambiental y urbana en el Distrito Federal (PFIA).

- 2013: Seminario "*Taller de Alineación de proyectos para la Zona Patrimonial*", en coordinación con la Autoridad de la zona patrimonio mundial natural y cultural de la humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, para el cual se contó con la participación de diversas autoridades del ámbito internacional, nacional y local, abordando temas cruciales del estatus ambiental de la zona y se presentaron las bases funcionales del SIG-Xochimilco de la PAOT, lo que permitió sustentar una propuesta para crear un nuevo escenario y reforzar la idea del trabajo y decisión interinstitucional orientado a la búsqueda de alternativas conjuntas y diferentes de solución, concluyéndose pertinente continuar y fortalecer el SIG-Xochimilco.

- 2014: Licitación Pública Nacional Abierta Mixta No. LA-909024988-N2-2014 para el estudio denominado: *"Levantamiento LIDAR aéreo de la zona chinampera y de humedales del Distrito Federal, para la generación y procesamiento de un banco de datos que sirvan de base para construir información topográfica y cartografía georreferenciada de alta precisión"*, a partir de su postprocesamiento fue posible elaborar un Modelo Digital de Elevación del Terreno con tamaño de pixel de 50 cm y fotomosaicos digitales en luz visible, infrarrojo y falso color, que permiten realizar análisis espacial georreferenciado a detalle de la topografía y de la situación actual del hundimiento en el ANP-EXSGA. A través de estos esfuerzos la PAOT, ha logrado avances significativos en la revisión e integración de la información existente y su análisis por expertos calificados, así como en el diseño e implementación de una herramienta tecnológica para el análisis actualizado espacial digital georreferenciado, que representan formas prácticas y directas de apoyo para la toma de decisión acordes con la gravedad de los problemas ambientales de Xochimilco, así como elementos indispensables para buscar soluciones concensuadas al deterioro ecológico de la matriz-suelo-agua y la pérdida y/ el cambio de uso de suelo agrícola en esta zona de humedales del sur oriente del Distrito Federal, basadas en datos duros y en la comprensión científica de sus efectos, pero con igual importancia de las causas que lo genera.

Con el aporte de estos elementos la PAOT busca estimular, propiciar y sustentar la participación de autoridades, dependencias, instancias académicas, organizaciones y actores sociales involucrados en la posibilidad de frenar la pérdida, degradación y contaminación de las zonas de humedales, chinampera y agrícola especialmente del Area Natural Protegida “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” en un marco de constante comunicación dentro del Programa de Manejo vigente; como una alternativa innovadora para tratar de mantener, con igual grado de importancia, tanto su valor para la humanidad, como para preservar calidad del agua del acuífero regional y su disponibilidad para el consumo humano, por su condición de bienes y servicios ambientales criticos para la viabilidad de la Ciudad de México.

Para continuar ese esfuerzo, en el año 2105 con base en la Convocatoria número IA-909024988-N5-2015 la PAOT determinó pertinente conceptualizar, elaborar e integrar tres herramientas informáticas dentro del SIG-Xochimilco de apoyo para la toma de decisiones en la gestión del ANP-EXSGA, denominadas técnicamente Descarga, Consulta por Punteo y Vistas; además dos productos cartográficos de alta precisión a partir de la interpretación especializada de datos LIDAR, denominados técnicamente: Capa de Asentamientos Humanos dentro del ANP y Capa de la Red de Canales dentro del ANP, así como una capacitación técnica para el personal de la PAOT y de la Secretaría del Medio Ambiente del D.F. involucrado en el manejo del SIG, con énfasis en dos temas de alta especialidad: Manejo e interpretación de datos LIDAR para generar cartografía de alta precisión; y Fusión de información LIDAR con fotografía aérea derivada de vuelos con drones.

4. OBJETIVO GENERAL

1. Diseñar, desarrollar e implementar herramientas para el Sistema de Información Geográfico Participativo de Xochimilco (SIGP-Xochimilco), para facilitar el análisis de los datos geográficos por parte del usuario y de aspectos básicos de los fenómenos que ocurren en la zona; aunado a esto, generar productos cartográficos de alta precisión derivados de datos LIDAR, para incorporarlos al Sistema de Información Geográfica de la PAOT (SIG-PAOT) y al SIG-Xochimilco.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Desarrollar e implementar tres herramientas de análisis espacial para el SIGP-Xochimilco que faciliten el análisis de los datos geográficos por parte del usuario (creación de vistas de apoyo, permitir las descargas de archivos en sus formatos de origen).

b) Generar información cartográfica de alta precisión a partir del procesamiento de datos LIDAR (mapa actualizado de canales y su caracterización, actualización y caracterización de asentamientos irregulares dentro del ANP), para consolidar un banco de información geográfica a partir de la incorporación de la cartografía generada en este proyecto al SIG-PAOT y al SIGP-Xochimilco.

c) Impartir dos cursos, para capacitar al personal de PAOT en el uso de información LIDAR.

6. JUSTIFICACIÓN

Hasta ahora las acciones y esfuerzos humanos y económicos que se han realizado para administrar los efectos derivados del deterioro ambiental del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (ANP-EXSGA), han sido muy importantes, pero no suficientes para corregirlos, ni para revertir sus causas, por lo cual la PAOT ha desarrollado acciones orientadas a generar información digital espacial actualizada y herramientas de informática para apoyar tanto la búsqueda de soluciones de manera integral, secuencial y sistemática, como para ampliar las posibilidades de análisis de los tomadores de decisión involucrados. Para ello, el Sistema de Información Geográfica del Patrimonio Ambiental y Urbano (SIG-PAOT) y el Sistema de Información Geográfica Participativo de Xochimilco de la PAOT (SIGP-Xochimilco), son herramientas de cibercartografía que la Procuraduría ha diseñado, implementado y puesto a disposición de todos los actores interesados a fin de permitir el aporte y generación de información actual y diversa sobre una base espacial georreferenciada.

De acuerdo a la visión de la PAOT, una vez concluida la fase de la implementación del SIG-PAOT y para continuar avanzando hacia el cumplimiento de los objetivos para los cuales fue diseñado, es necesario fortalecerlo incorporándole herramientas dinámicas que sirvan para que las instituciones del Gobierno del Distrito Federal se empoderen de la información cartográfica digital y la utilicen como un apoyo para la solución de los principales problemas ambientales; así como nuevos elementos cartográficos de alta precisión a partir de análisis específicos derivados de la interpretación de datos LIDAR, que contribuyan a activar y motorizar el proceso de toma de decisiones en una zona de relevancia internacional como lo es el ANP-EXSGA, para lo cual a través de la realización del estudio correspondiente se propone alcanzar los objetivos establecidos en la convocatoria correspondiente.

7. PLAN DE TRABAJO APROBADO

Conforme lo previsto en la Convocatoria número IA-909024988-N5-2015 el 8 de septiembre de 2015 se realizó en las oficinas de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal (PAOT), una reunión de trabajo entre el grupo técnico de la empresa Consultores en Gestión, Política y Planificación Ambiental S.C (GPPA) y los responsables técnicos de la PAOT, en la cual se alcanzaron los siguientes consensos:

1. Actualización del plan de trabajo para las actividades conducentes al logro de los objetivos técnicos del estudio y ratificación de la conformación del grupo de trabajo técnico de GPPA.

2. Revisión y validación del diseño conceptual propuesto por los expertos de GPPA para el desarrollo de las tres herramientas de análisis espacial a implementar en el estudio y de su descripción técnica.

3. Revisión y validación de la información cartográfica de alta precisión a generar en el estudio, a partir del procesamiento de datos LIDAR.

4. Revisión y validación de los temarios propuestos por los expertos de GPPA para cada uno de los dos cursos de capacitación en el uso de información LIDAR dirigidos al personal de la PAOT, incluyendo las características y fechas posibles para su impartición.

En el Anexo 1 de este Informe Final se presenta la Minuta correspondiente a la reunión técnica referida del 8 de septiembre de 2015, en la que participaron las siguientes personas:

Responsables técnicos de la Dirección de Estudios, Dictámenes y Peritajes de Protección Ambiental de la PAOT designados por la PAOT: Oliva Pineda Pastrana: Subdirectora e Iván Leonardez Hernández. Expertos de GPPA: Luis Octavio Ramírez Fernández: Especialista en SIG; Armando Peralta Higuera: Especialista en manejo de información Lidar; y José Luis Rojas Galaviz: Coordinador técnico del estudio, cuyas semblanzas curriculares se presentan en el Anexo 2 de este informe.

Con base en la revisión de las propuestas de GPPA por parte los responsables técnicos designados por la PAOT, el plan de trabajo definitivo quedó aprobado como sigue:

- Elaborar el diseño conceptual de desarrollo y la descripción técnica de las tres herramientas de análisis espacial para el SIG-Xochimilco: a) Descarga de archivos; b) Consulta por punteo; y c) Creación de vistas al apoyo de análisis espacial y su publicación en Web; incluyendo una de las mismas.

- Describir y llevar a efecto las actividades para implementar e integrar en el SIGP-Xochimilco las herramientas de análisis espacial. Llevar a efecto la prueba de su funcionamiento dentro del SIG y hacer la entrega de la Memoria Técnica respectiva

- Describir e elaborar de las capas de información cartográfica de alta precisión a generar en el estudio, a partir del procesamiento de datos LIDAR.

- Desarrollar los temarios de cursos cortos para manejo e interpretación de datos LIDAR para generar cartografía de alta precisión y fusión de información LIDAR con fotografía aérea derivada de vuelos con drones y con base en ellos realizar la capacitación al personal de la PAOT.

Los resultados del plan de trabajo se presentan en las secciones subsecuentes.

8. RESULTADOS: HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS ESPACIAL

8.1 Conceptualización y descripción técnica de las herramientas

El componente central del Sistema de Información Geográfica (SIG) es el sistema manejador de bases de datos relacionales PostgreSQL con el componente espacial PostGIS, en el se almacenaran las capas vectoriales de puntos, líneas y polígonos en forma de tabla.

La edición de la información de las capas se debe realizar desde un SIG de escritorio que permita conexiones a base de datos espaciales como QGIS. De igual manera la creación, vistas, filtrado y consultas de datos para nuevas capas se hace desde QGIS.

Los cambios realizados en las capas, así como la creación de las nuevas se observarán casi en tiempo real en el visualizador Web del SIAG Xochimilco, lo cual será posible mediante el servicio de datos geográficos GeoServer. Este servicio se encuentra conectado permanentemente a la base de datos espacial para la publicación de las capas mediante el Servicios de Mapas en Web (WMS), Servicio de Mapas de Rasgos (WFS) y el Servicio de Catalogo en Web (WCS) necesarios para el visualizador SIG Web y la descarga de los datos en los formatos de shapefile, kml, pdf, png, csv, tif entre otros. La descarga de los datos espaciales, en los formatos antes mencionados, se realizará desde un botón de vinculación a la página de descarga en GeoServer de todos los datos públicados.

El diseño conceptual revisado y aprobado por el área técnica de la PAOT responsable del seguimiento del estudio correspondiente a las herramientas de análisis espacial se presenta en la Figura 1 y el del flujo de la información en la Figura 2.

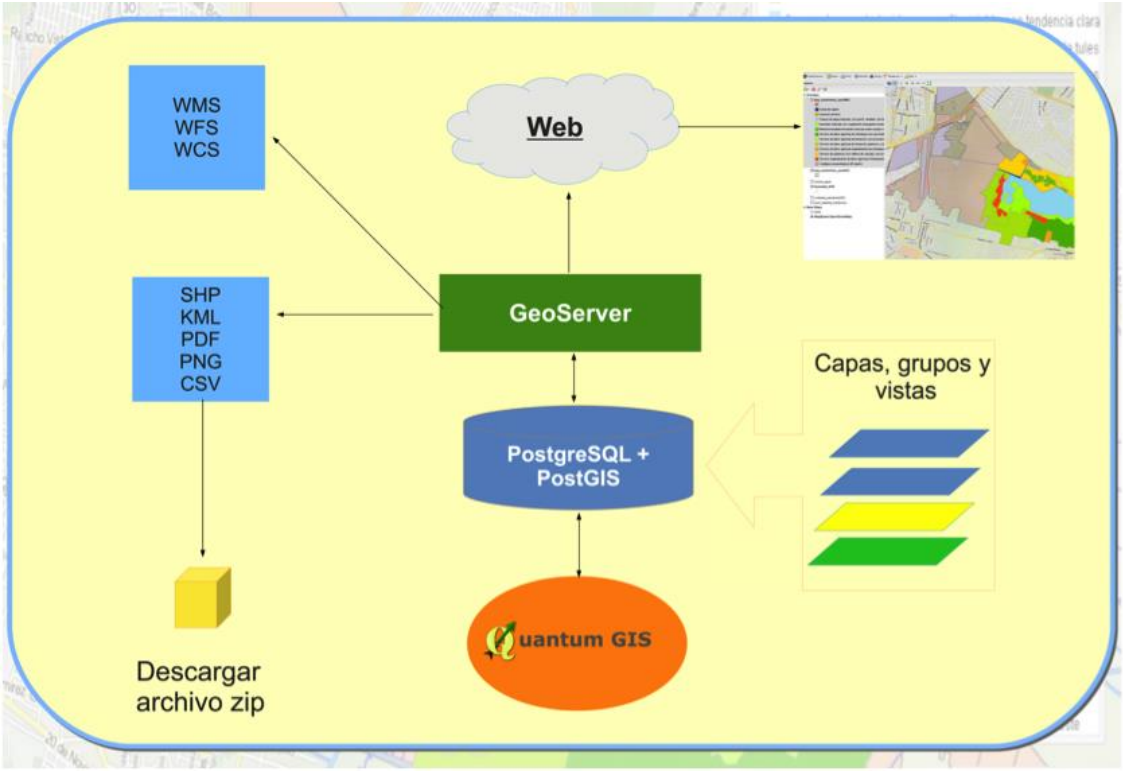

Figura 1. Diseño conceptual sobre el cual se fundamentó el diseño y el desarrollo de las tres herramientas de análisis espacial para el SIGP-Xochimilco.

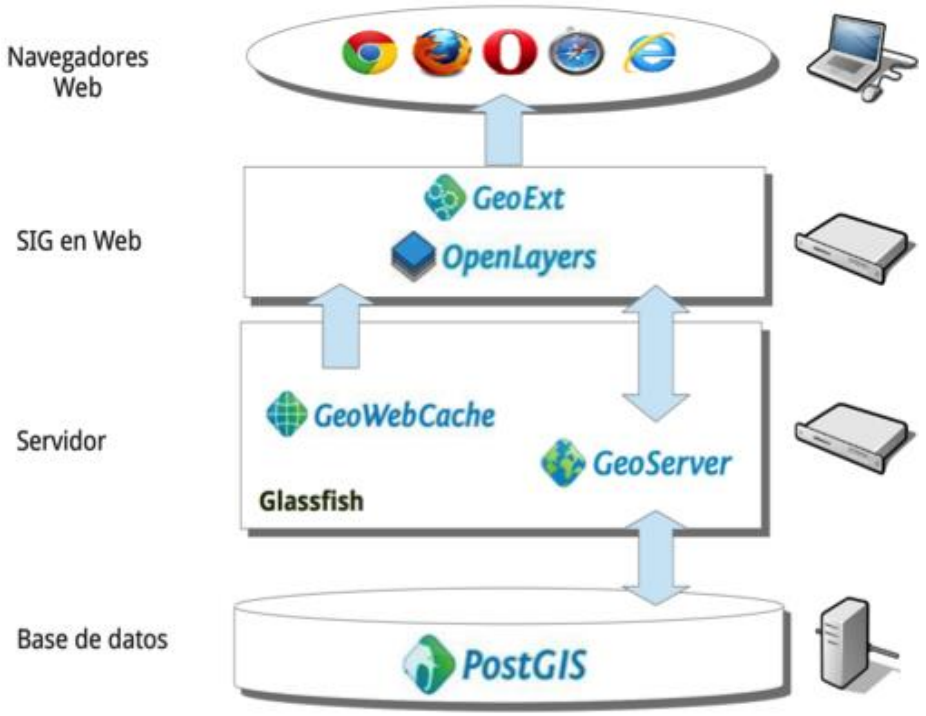

Figura 2. Diagrama conceptual de flujo de la información sobre el cual se fundamentó el diaseño y el desarrollo de las tres herramientas de análisis espacial para el SIGP-Xochimilco.

8.1.1 Descripción técnica de la herramienta Descarga

Un SIG se integra entre otros elementos de bases de datos espaciales (PostGIS), servidor de mapas y datos espaciales compartidos (GeoServer) y visualizador web (SIAG-Xochimilco). La herramienta de descarga de datos en formato vectorial, se implementó desde un botón de acceso a los datos publicados y compartidos en servidor de mapas (GeoServer). Para ello fue necesario agregar entre otros los siguientes complementos a GeoServer: geosearch, importer, módulo de flujo de control, monitoreo, filtrado de cruce de capas, servicio de procesamiento en Web y servicio de catálogos en Web, así como la configuración de cada uno de ellos para optimo desempeño.

8.1.2 Descripción técnica de la herramienta Vistas

Las vistas son consultas personalizadas sobre las capas publicadas en el servidor de datos espaciales, de las cuales se obtienen capas con valores específicos en función de sus valores. Los grupos, son conjuntos de capas seleccionadas por temas de interés a trabajar o estudiar. En este caso se utilizaron los datos de las capas publicadas en el SIAG-Xochimilco al 31 de agosto de 2015 y como resultado se publicaron diversas capas nuevas entre vistas y grupos determinadas por el área técnica de la PAOT responsable del seguimiento del estudio.

8.1.3 Descripción técnica de la herramienta Consulta por Punteo

Corresponde a la identificación de las capas disponibles en el SIAG-Xochimilco para una ubicación geográfica puntual determinada, a fin de identificar la información existente en cada parte del ANP. Para la funcionalidad de identificar más de una capa, fue necesario agruparlas por temas de estudio, derivado de las vistas y grupos. De esta forma se abrió la posibilidad de la identificación puntual sobre dos o más capas.

8.1.3 Actualización del Geoserver en el SIG-Xochimilco

Los componentes principales de un Sistema de Información Geográfica son las bases de datos espaciales (PostGIS), el servidor de mapas y datos espaciales compartidos (GeoServer) y el visualizador web, que en el caso de este estudio corresponde al SIAG-Xochimilco y para la incorporación de las herramientas Vistas; Descargas y Consultas por Puntero al SIAG-Xochimilco, fue indispensable actualizar el servidor de mapas espaciales (GeoServer) descrito en la Memoria Técnica (punto 7.6) y habilitar los siguientes complementos:

geoserver-2.7-SNAPSHOT-colormap-plugin.zip
geoserver-2.7-SNAPSHOT-gpx-plugin.zip
geoserver-2.7-SNAPSHOT-hz-cluster-plugin.zip
geoserver-2.7-SNAPSHOT-python-plugin.zip
geoserver-2.7-SNAPSHOT-sldservice-plugin.zip
geoserver-2.7-SNAPSHOT-wps-download-plugin.zip
geoserver-2.7.1-app-schema-plugin.zip
geoserver-2.7.1-cas-plugin.zip
geoserver-2.7.1-charts-plugin.zip
geoserver-2.7.1-control-flow-plugin.zip
geoserver-2.7.1-css-plugin.zip
geoserver-2.7.1-csw-plugin.zip
geoserver-2.7.1-dxf-plugin.zip
geoserver-2.7.1-excel-plugin.zip
geoserver-2.7.1-feature-pregeneralized-plugin.zip
geoserver-2.7.1-gdal-plugin.zip
geoserver-2.7.1-geosearch-plugin.zip
geoserver-2.7.1-h2-plugin.zip
geoserver-2.7.1-imagemap-plugin.zip
geoserver-2.7.1-imagemosaic-jdbc-plugin.zip

geoserver-2.7.1-importer-bdb-plugin.zip
geoserver-2.7.1-importer-plugin.zip
geoserver-2.7.1-jp2k-plugin.zip
geoserver-2.7.1-libjpeg-turbo-plugin.zip
geoserver-2.7.1-monitor-hibernate-plugin.zip
geoserver-2.7.1-monitor-plugin.zip
geoserver-2.7.1-ogr-plugin.zip
geoserver-2.7.1-oracle-plugin.zip
geoserver-2.7.1-printing-plugin.zip
geoserver-2.7.1-pyramid-plugin.zip
geoserver-2.7.1-querylayer-plugin.zip
geoserver-2.7.1-wcs2_0-eo-plugin.zip
geoserver-2.7.1-wps-cluster-hazelcast-plugin.zip
geoserver-2.7.1-wps-plugin.zip
geoserver-2.7.1-xslt-plugin.zip

NOTA: Los detalles técnicos de la informática involucrada en el diseño y la implementación de las herramientas de análisis espacial se presenta en la Memoria Técnica correspondiente, adjunta a este informe.

El trabajo técnico diseñado e implementado permitió la incorporación en el SIAG-Xochimilco de capas y grupos de capas así como su visualización directa, con el resultado que se ejemplifica en la Figura 3.

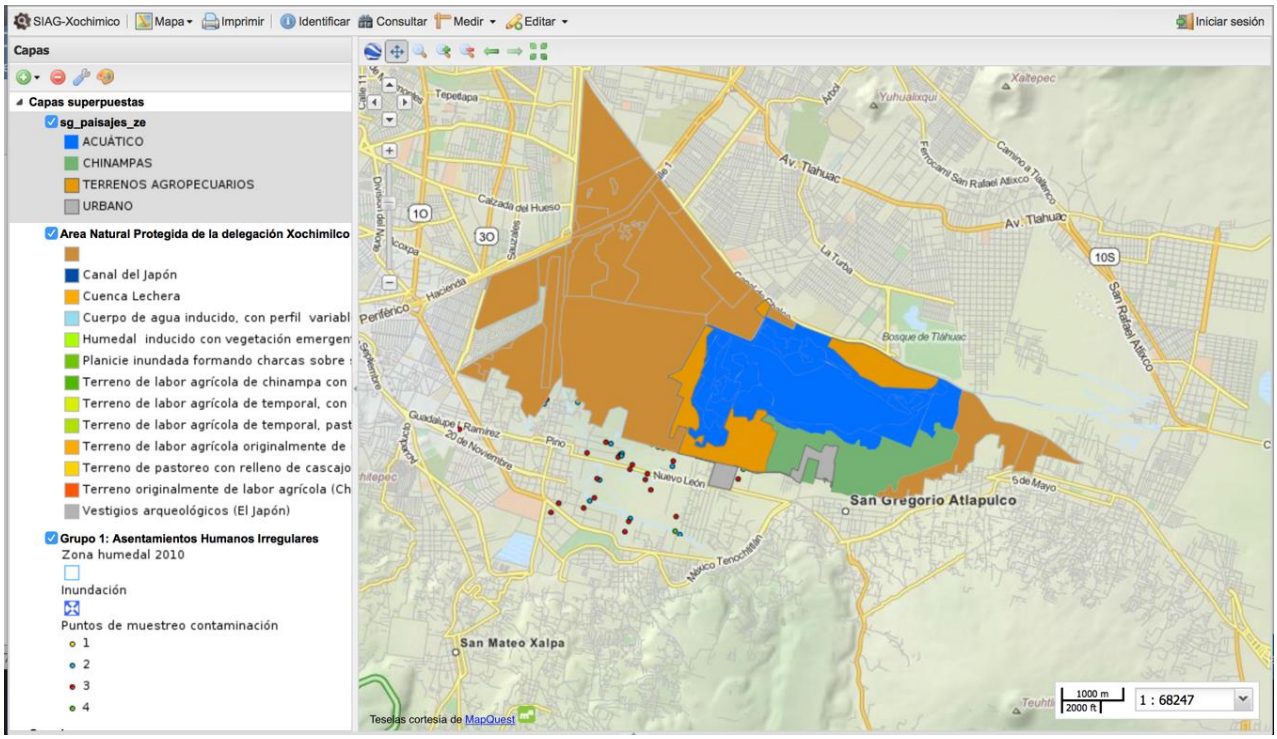

Figura 3. Ejemplo de resultados de la incorporación de las herramientas de análisis espacial: Visualización de capas activas en el SIAG-Xochimilco

Con base en esta actualización fue posible la Implementación e incorporación específica de cada una de las herramientas dentro del SIGP-Xochimilco, entregándose funcionando con los siguientes resultados.

8.2 Incoporación al SIG-de la herramienta Descarga

La herramienta de descarga de datos en formato vectorial quedó disponible desde un botón de acceso a los datos publicados y compartidos en servidor de mapas (GeoServer) y desde la página Web del SIAG-Xochimilco. La descarga permite tener acceso y obtener los datos vectoriales en formatos shapefile, KML, SVG, PDF, PNG, JPG, GeoTIFF, Gif, Excel, entre otros. El acceso todos los datos publicados por el SIAG-Xochimilco de la PAOT es desde el siguiente URL: http://10.42.0.11:8080/geoserver/web/?wicket:bookmarkablePage=:org.geoserver.web.demo.MapPreviewPage o en su defecto desde la página Web del mismo. En las Figuras 4, 5 y 6 se demuestra ejemplificativamente la herramienta Descarga ya incorporada como parte funcional del SIG-Xochimilco.

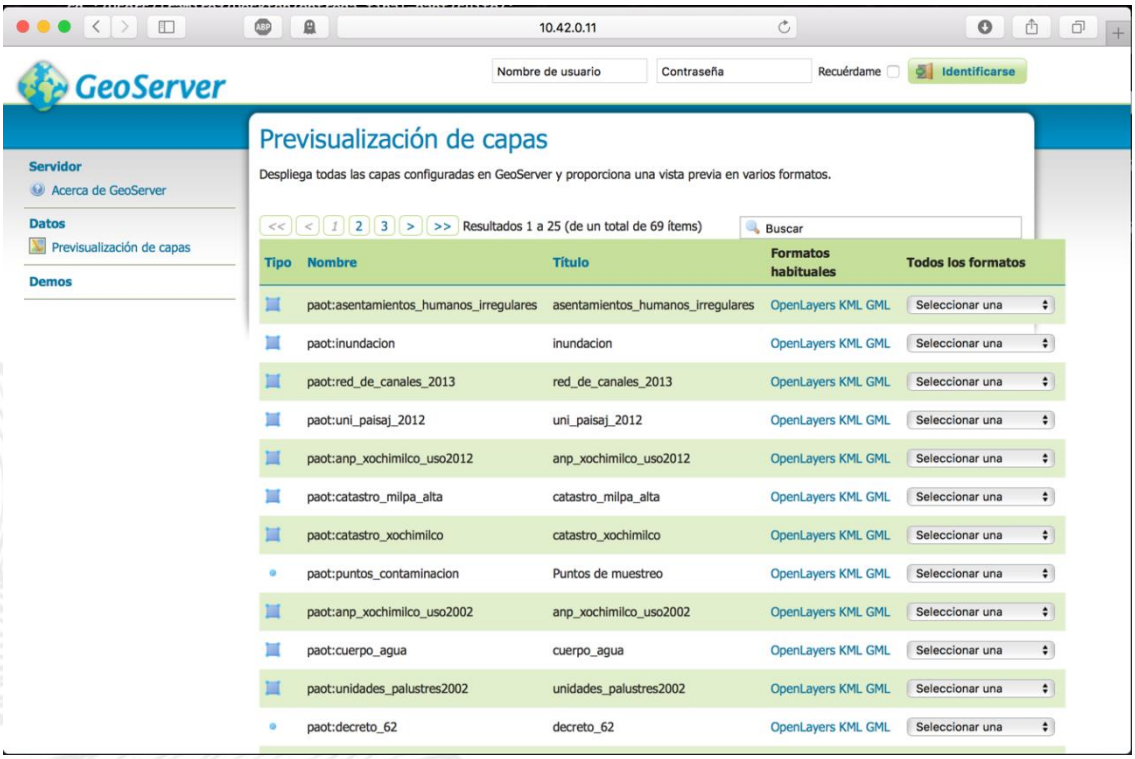

Figura 4. Ejemplo funcional de los resultados de la incorporación de la herramienta Descarga: Lista de capas disponibles para su descarga en el SIAG-Xochimilco.

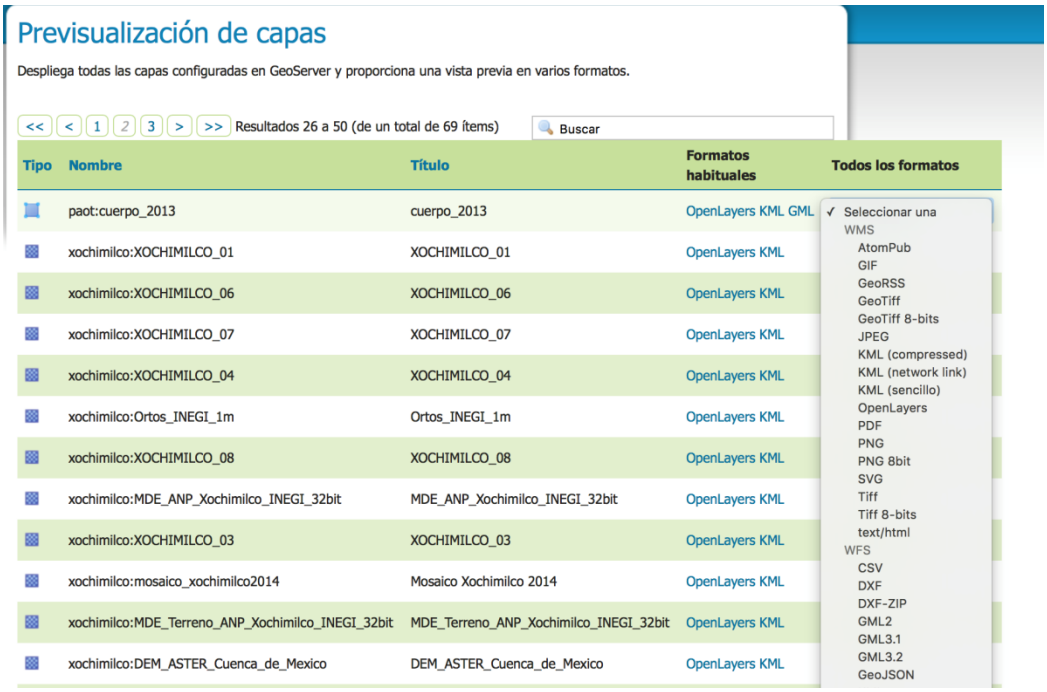

Figura 5. Ejemplo funcional de la incorporación de la herramienta Descarga: Formatos disponibles para su descarga en el SIAG-Xochimilco.

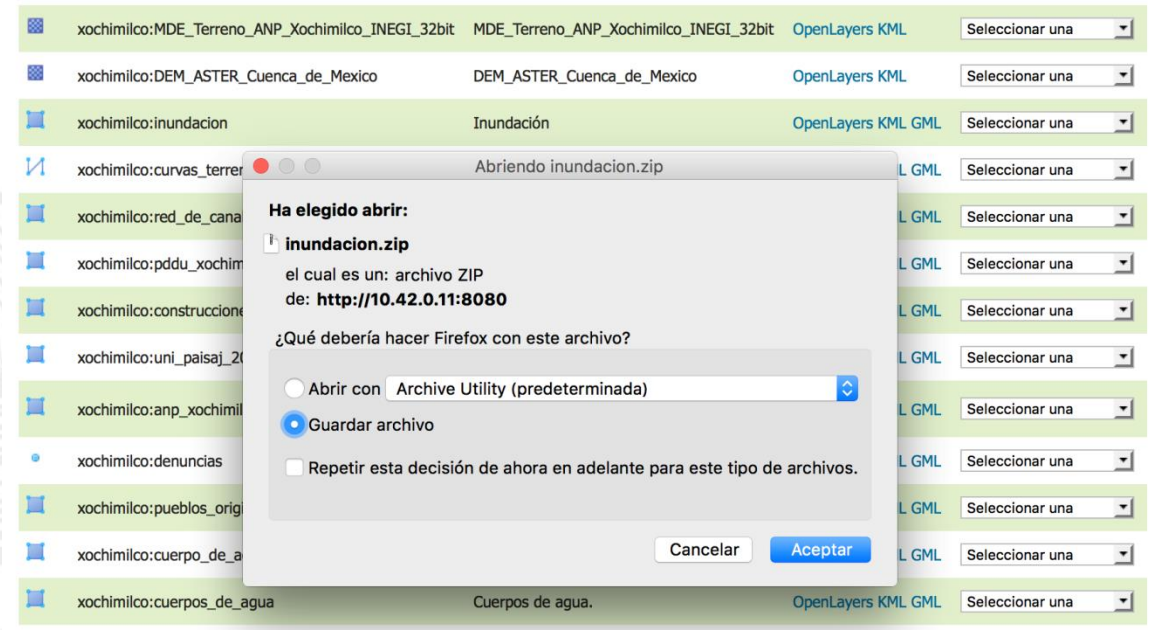

Figura 6. Ejemplo funcional de la incorporación de la herramienta Descarga: Descarga de datos en formatos shape file dentro en el SIAG-Xochimilco.

Para el caso de la herramienta Descarga se agregaron los siguientes complementos a GeoServer, geosearch, importer, módulo de flujo de control, monitoreo, filtrado de cruce de capas, servicio de procesamiento en Web y servicio de catálogos en Web, así como la configuración de cada uno de ellos para su optimo desempeño.

8.3 Incoporación al SIG de la herramienta Vistas

Las vistas son consultas personalizadas sobre las capas publicadas en el servidor de datos espaciales, de las cuales se obtienen grupos capas con valores específicos en función de sus valores. Los grupos, son por tanto conjuntos de capas agrupadas por temas de interés a trabajar o estudiar. Con este enfoque y utilizando las capas existentes de la base de datos geoespacial “xochimilco” fueron creados los siguientes grupos de capas:

- **Grupo 1**: Asentamientos Humanos Irregulares (foto 2010), contra: A) Plano del Plan de Manejo 2006; B) Inundación 2010; C) Puntos de muestreo - contaminación; y D) Zona Humedal 2010.

- **Grupo 2:** Asentamientos Humanos Irregulares (foto 2012), contra: A) Unidades de paisaje 2010; y B) Unidades de paisaje 2012.

- **Grupo 3:** Asentamientos Humanos Irregulares 2014 con base en el levantamiento LIDAR, contra se A) Plano del Plan de Manejo 2006; B) Inundación 2010; C) Puntos de muestreo - contaminación; y D) Zona Humedal 2010.

Estos grupos fueron determinados por parte del área técnica de la PAOT responsable del seguimiento estudio, lo cual quedó registrado en la Minuta de la reunión del 29 de octubre de 2015 (Anexo 3).

En las Figuras 7, 8 y 9 se demuestra ejemplificativamente la herramienta Vistas ya incorporada como parte funcional del SIG-Xochimilco.

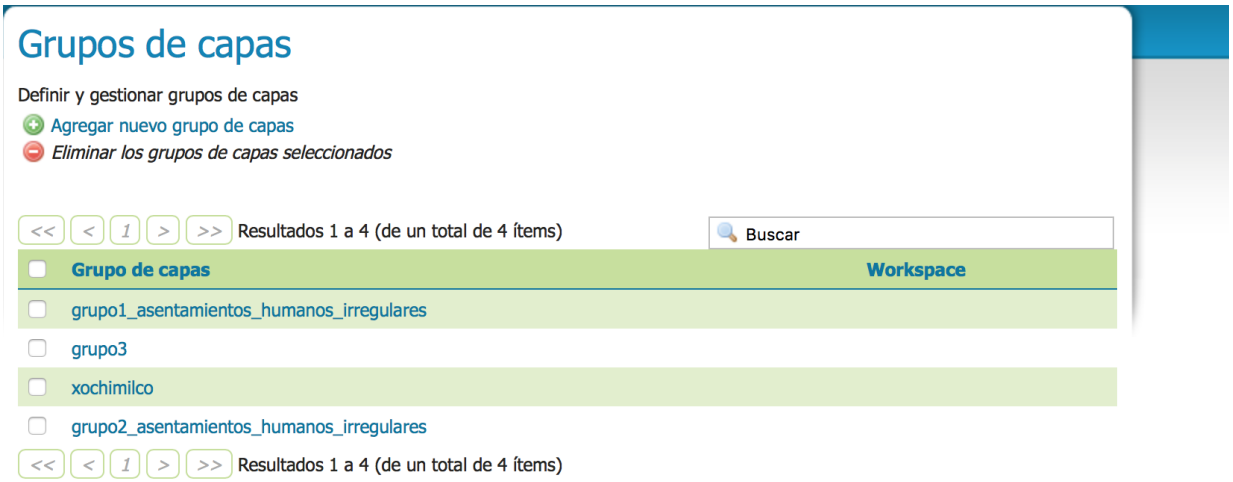

Figura 7. Ejemplo funcional de la incorporación de la herramienta Vistas: Grupos de capas dentro en el SIAG-Xochimilco.

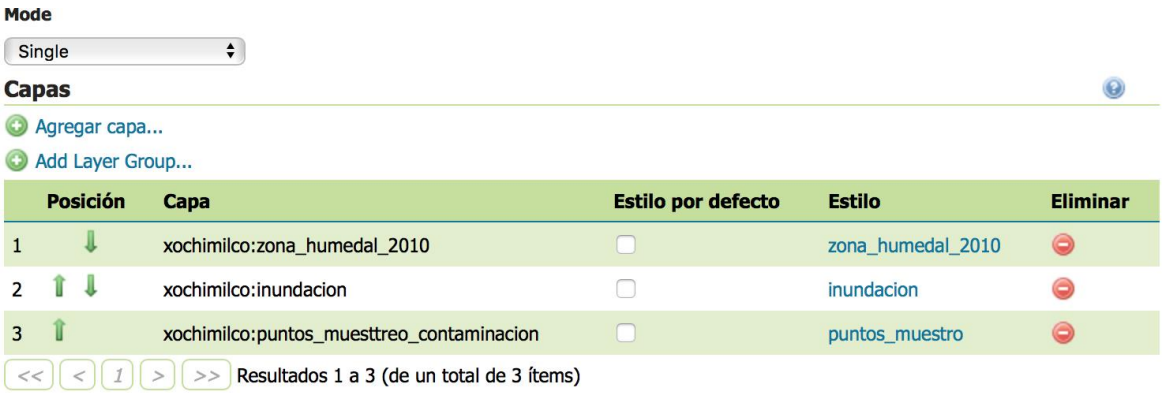

Figura 8. Ejemplo funcional de la incorporación de la herramienta Vistas: Capas del Grupo 1 dentro en el SIAG-Xochimilco.

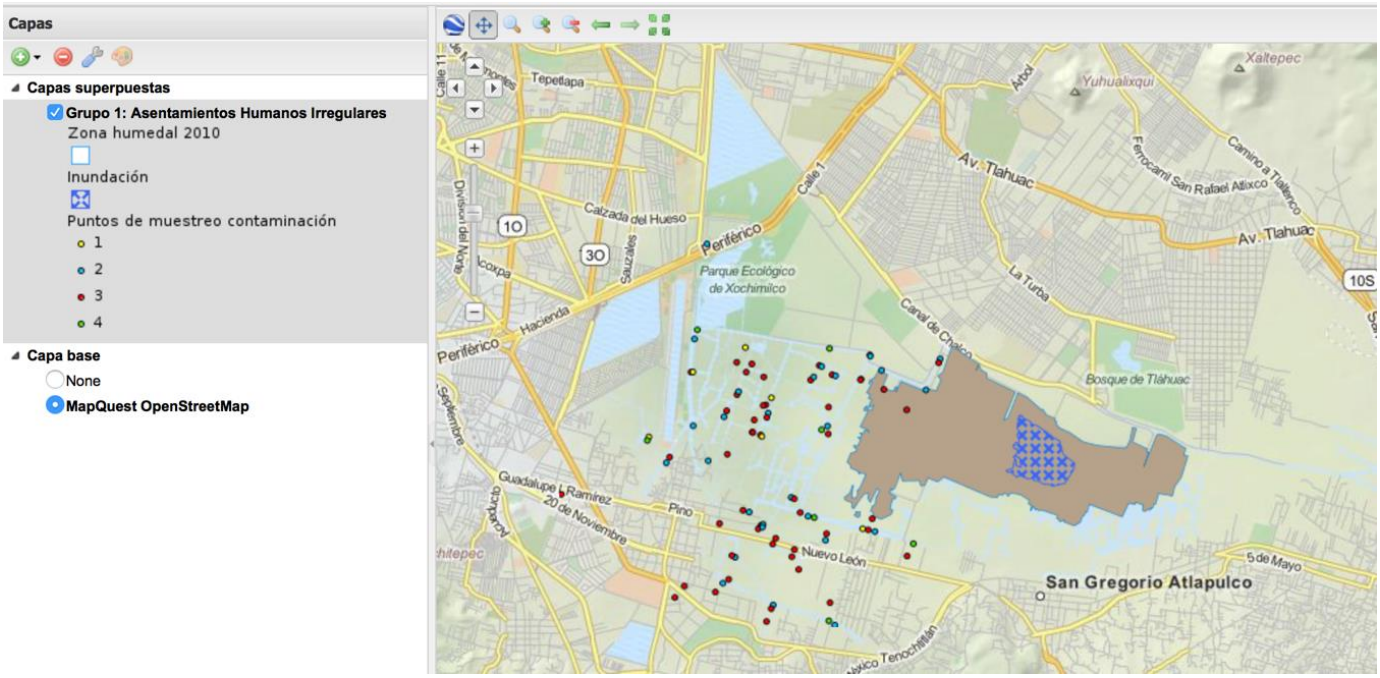

Figura 9. Ejemplo funcional de la incorporación de la herramienta Vistas: Visualización de las Capas del Grupo 1 dentro en el SIAG-Xochimilco.

8.4 Incoporación al SIG de la herramienta Consulta por Punteo

Comprende la identificación de las capas disponibles en el SIAG-Xochimilco para una ubicación geográfica puntual determinada, a fin de determinar información existente para sitios diversos del ANP. Para ello, se habilitó la funcionalidad de identificar más de una capa y se tuvieron que agrupar las capas, derivado de las vistas y grupos. De esta forma, la identificación puntual se puede realizar sobre dos o más capas. En las Figuras 10 y 11 se demuestra ejemplificativamente la herramienta Consulta por Punteo ya incorporada como parte funcional del SIG-Xochimilco.

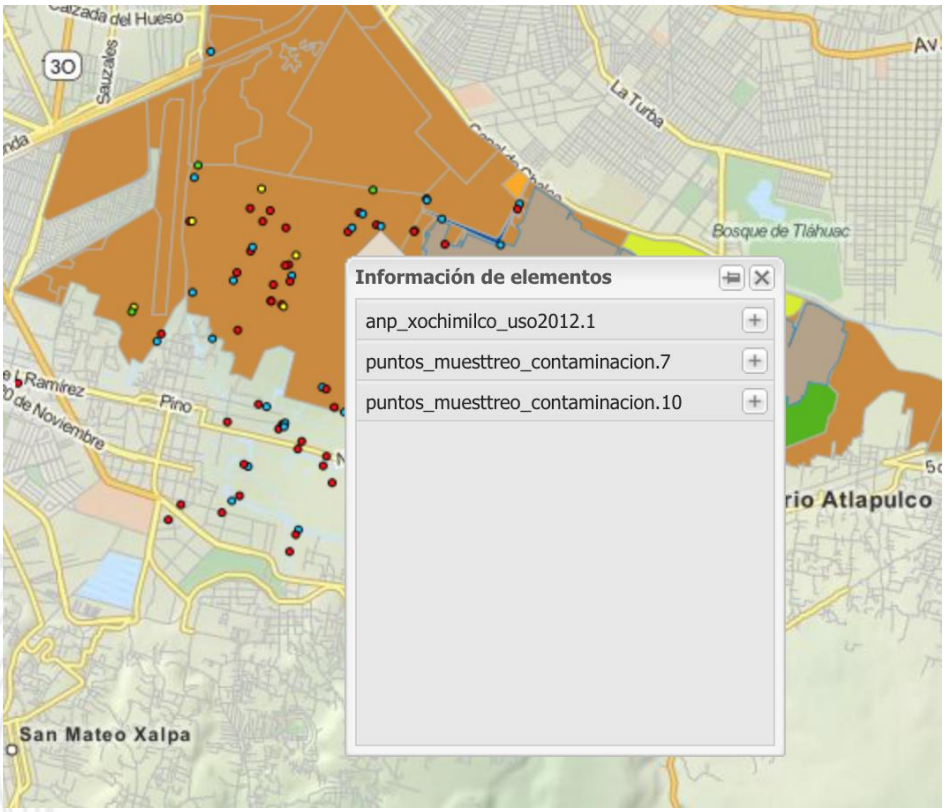

Figura 10. Ejemplo funcional de la incorporación de la herramienta Consulta por Punteo: Consulta de capas y grupos dentro en el SIAG-Xochimilco.

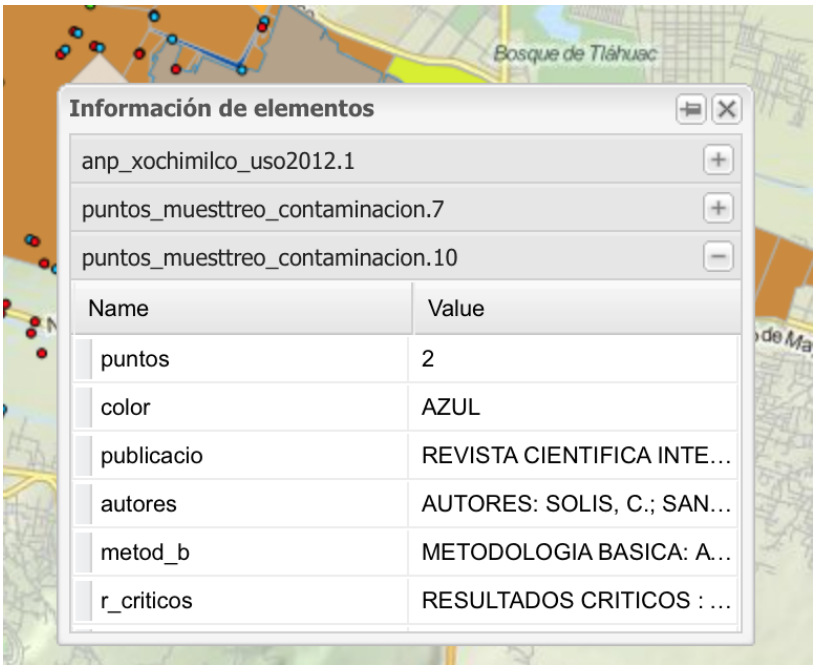

Figura 11. Ejemplo funcional de la incorporación de la herramienta Consulta por Punteo: Visualización de campos de más de dos capas dentro en el SIAG-Xochimilco.

8.5 Prueba de funcionamiento y Memoria Técnica de las herramientas

La entrega de las tres herramientas al personal del área técnica de la PAOT responsable del seguimiento estudio quedo registrada en la Minuta de la reunión técnica de trabajo del 26 de noviembre de 2015 (Anexo 4). La descripción operativa y la prueba de funcionamiento de las mismas se efectuó el 2 de diciembre de 2015 mediante una demostración de su correcta integración y funcionamiento dentro del SIAG-Xochimilco para dicho personal, lo cual quedó registrado en la Minuta correspondiente (Anexo 5) junto con la Memoria Técnica respectiva. Tanto la prueba de funcionamiento como la propia Memoria Técnica (Anexo 6), después de su revisión se consideró completa y fue aprobada por parte del área técnica de la PAOT, sin detrimento de lo establecido en el manifiesto de garantía presentado por GPPA como parte de su propuesta para participar en la Convocatoria correspondiente.

9. RESULTADOS: PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS DE ALTA PRECISIÓN DERIVADOS DEL POST-PROCESAMIENTO DE DATOS LIDAR PROPORCIONADOS POR LA PAOT

9.1 Elaboración y análisis de la capa actualizada de asentamientos humanos dentro del ANP

9.1.1 Antecedentes del cambio de usos del suelo en el ANP

Durante el siglo XX la región chinampera del sur del Distrito Federal se vio seriamente amenazada por problemas derivados de una gestión gubernamental inadecuada del agua, de factores económicos, de cambios sociales y del crecimiento de la ciudad, entre otros. La resistencia y capacidad de adaptación de la población, junto con cambios en las políticas gubernamentales, logró que se recuperara una porción importante de la zona de chinampas y que éstas se conservaran como un modelo agrícola intensivo altamente productivo, que sustenta un paisaje y un modo de vida únicos. Sin embargo, a partir de la década de 1980 inició un proceso de cambio en la forma de aprovechar las chinampas de Xochimilco y de abandono paulatino de su vocación original.

Esto se ha debido en parte a un incremento en la producción de cultivos más rentables, como los llamados “orgánicos”, las flores y otros, que tienen una demanda creciente y que utilizan prácticas agrícolas muy distintas a las tradicionales. La mayoría de estas modalidades de producción ya no depende estrictamente del funcionamiento hidráulico, edafológico y biológico original de la chinampa y requieren de la instalación de invernaderos, sombreaderos, tuberías, estructuras semifijas o permanentes para la hidroponia o riego y espacios para el almacenamiento de equipos o insumos. entre otras funciones.

Estas instalaciones han proliferado en varias zonas dentro del Area Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (ANP-EXSGA) y aún cuando en las mismas chinampas en las que se encuentran se utilizan de manera concurrente los métodos ancestrales, su presencia refleja un cambio cultural, social y económico que se va alejando del carácter tradicional que la zona chinampera ha tenido durante cientos de años y que le ha dado el reconocimiento de sitio patrimonial de la humanidad.

Otro proceso que ocurre desde hace décadas, pero que se ha acelerado notablemente en los últimos veinte años, es el cambio del uso del suelo agrícola por el habitacional o el comercial, que ya ha transformado una superficie significativa de chinampas en zonas urbanas consolidadas. Esta invasión produce cambios ambientales, ecológicos e hidrodinámicos en el sistema de las chinampas, que sumados a otros factores como la contaminación del agua y la extracción de ésta del subsuelo, pueden tener impactos significativos en el ambiente de todo el Valle de México.

A primera vista, la creación del ANP-EXSGA parece haber detenido este proceso, como podría interpretarse del análisis de las imágenes aéreas y satelitales más recientes, en las que es posible observar el contraste que existe entre la presencia dominante de chinampas y predios agrícolas dentro de sus límites, y las zonas urbanas que la bordean casi en su totalidad. Pero este panorama es engañoso si consideramos que en el pasado los límites del ANP-EXSGA fueron modificados y trazados justamente para excluir zonas originalmente protegidas que fueron ocupadas por asentamientos urbanos de manera irregular e ilegal. Por lo tanto, no puede considerarse que sea el ANP la que limita el avance urbano, sino más bien son los cambios en el uso del suelo los que de facto han determinado la extensión del área que se intenta proteger. Esta afirmación se ve reforzada por el hecho de que dentro de los límites actuales del ANP se siguen construyendo viviendas, los canales son cruzados por puentes para vehículos o bien son reemplazados por caminos una vez que el deterioro en sus condiciones hidráulicas o ambientales lo permite.

Muchos de estos caminos ya cuentan con nombres de calle, aparentemente oficiales, y de acuerdo con las tendencias observadas consistentemente, cabe esperar que se les dote de servicio eléctrico, pavimentación y eventualmente sean regularizados.

De los 38.378 km de longitud que tiene el perímetro del ANP, 28.45km (74.1%) colindan con zonas urbanas consolidadas; 5.02km (13.1%) con zonas de antiguas chinampas que se encuentran en un proceso de urbanización franco y aparentemente irreversible; 2.81km (7.3%) con agricultura que ya no utiliza las chinampas de manera tradicional; 1.06km (2.8%) con un área verde urbana (Bosque de Tláhuac) y tan solo en 1.04km (2.7%) colinda con una zona de chinampas bien conservadas en las que aún existen canales activos, pero con presencia abundante de invernaderos. Esto significa que fuera del ANP ya no existe un espacio en el que sea posible realizar tareas de conservación ni de restauración, por lo que todo el esfuerzo debe concentrarse en su interior, si es que existe la intención de preservar los valores culturales, ambientales y sociales que alberga.

La presencia de construcciones permanentes y los cambios en las formas de manejo de las chinampas, cuyos efectos a largo plazo no han sido valorados aún, limitan de manera severa las posibilidades de conservación de este agroecosistema. Esto es aún más crítico ante las crecientes evidencias de que su permanencia ya depende de un manejo completamente artificial. Para actuar de manera oportuna ante estos procesos es necesario evaluar frecuentemente su intensidad y distribución, para lo cual un elemento básico es la generación de cartografía específica y actualizada.

Con este propósito, se produjo un mapa de asentamientos humanos dentro del ANP, a partir de datos lídar e imágenes multiespectrales de alta resolución obtenidos por la PAOT hacia finales de 2014. De manera adicional, se analizó un levantamiento lídar de 2007 del INEGI, para identificar los principales cambios ocurridos durante los últimos 7 años.

9.1.2 Alcances

Para el caso de este estudio y conforme lo establecido en el Anexo Técnico de la Convocatoria respectiva los asentamientos humanos son construcciones permanentes y temporales (sombreaderos, invernaderos y otras), que se consideran irregulares por encontrarse dentro del ANP-EXSGA y su actualización 2014 corresponde al postprocesamiento de datos LIDAR para identificarlas y clasificarlas por alturas.

Con ese enfoque se hizo una distinción entre las instalaciones que por sus dimensiones, materiales o propósito aparente puedan ser consideradas como de carácter temporal y/o directamente relacionadas con actividades permitidas dentro del ANP, como es el caso de las agrícolas, de aquellas de carácter permanente y que puedan interpretarse como destinadas a vivienda, usos comerciales y otros no autorizados según la normatividad que rige el ANP-EXSGA.

En este caso no se hizo una clasificación de usos específicos. Aunque su sola presencia dentro del ANP-EXSGA es suficiente para determinar la condición de irregularidad, al respecto será labor del personal técnico y jurídico de la PAOT definir los criterios y excepciones que permitan determinar si algunas instalaciones deben ser consideradas como regulares.

9.1.3 Descripción y metodología de la elaboración de la capa actualizada

Para obtener el mapa de asentamientos dentro del ANP, se aprovechó la información altimétrica que proporcionan los datos lídar, junto con la información multiespectral contenida en fotografías aéreas de alta resolución obtenidas por la PAOT en año 2014.

La metodología que se describe a continuación tuvo como objetivo identificar, cartografiar y contabilizar las edificaciones permanentes que conforman asentamientos humanos consolidados o en formación dentro del ANP, así como aquellas instalaciones permanentes o removibles ubicadas en la zona de chinampas, para el año 2014. Como fuente de información altimétrica y de morfología tridimensional de los asentamientos humanos, se utilizaron las nubes de puntos de un levantamiento lídar realizado por la PAOT en el año 2014, con una densidad promedio de 9 puntos/m^2. Adicionalmente, se analizaron datos lídar de la zona producidos en 2007 por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) con 0.5 puntos/m^2 y se realizó una comparación entre modelos altimétricos, para identificar las construcciones nuevas que se establecieron durante ese período.

Las nubes de puntos originales de 2014 ya habían sido sometidas después del levantamiento a una primera clasificación general, que las dividió en dos grupos.

El primero corresponde a la denominada primera superficie, que incluye la superficie del terreno expuesto y de todos los objetos que se encuentran sobre él, incluyendo la vegetación, edificios, líneas eléctricas, torres y otros (Figura 12 a). Representa la parte más externa de los objetos, equivalente a la de un observador o una imagen fotográfica, pero contiene información sobre la posición tridimensional de cada punto observado.

La segunda nube previamente clasificada corresponde al terreno desnudo (Figura 12 b) y aunque en la actualidad se realizan investigaciones sobre nuevos procedimientos para discriminarla, una forma bien establecida consiste en analizar los retornos del láser que logran atravesar el follaje y después se aplica un algoritmo basado en criterios morfológicos que selecciona los puntos en función de su proximidad, de su probable pertenencia a un plano y en algunos casos, analizando si se ajustan a alguna forma tridimensional específica.

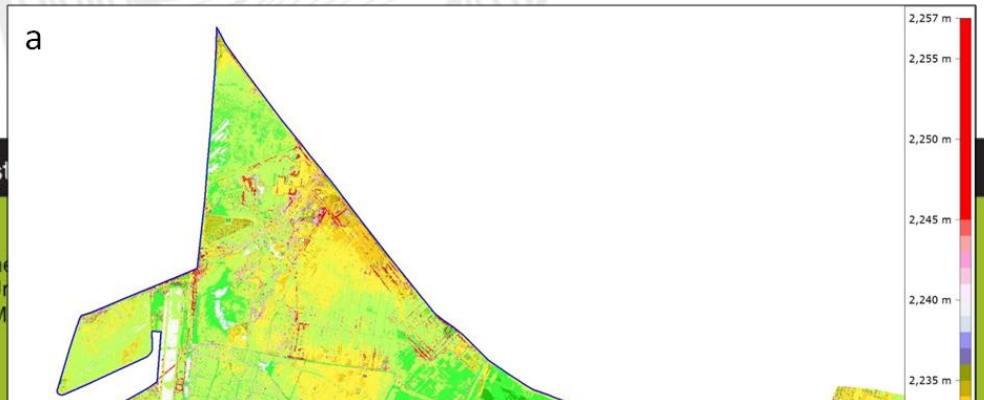

Figura 12. Nubes de puntos del ANP-EXSGA obtenida en 2014 mediante un levantamiento lídar. En las zonas en blanco no hay puntos lídar por ser cueropos de agua:
a) Nube de primera superficie, mostrando el terreno abierto y los objetos sobre éste; y
b) Nube del terreno, o suelo desnudo, sin vegetación ni edificios.
El contorno azul representa el límite del ANP.

De esta manera se conserva la imágen del piso al tiempo que es posible eliminar los puntos que se encuentran por encima de él, que generalmente corresponden a la vegetación media, alta, edificaciones y otros objetos. Sin embargo, la discriminación no es totalmente confiable debido a la complejidad de las formas analizadas, por lo que pueden aparecer pequeños montículos en las bases de árboles y edificios.

Una característica típica de una nube de puntos del suelo desnudo es que los edificios son identificados y eliminados, dejando en su lugar un hueco en la nube. Cuando se crea un modelo digital del terreno, estos huecos son llenados creando una superficie de triangulación que une los puntos de los bordes, por lo que en lugar de formarse un plano horizontal representativo del terreno nivelado, suelen producirse superficies irregulares (casi horizontales) que deben interpretarse con cautela.

La eliminación de los edificios tiene el propósito de representar sólo las elevaciones del terreno, como se hace de manera convencional para los mapas topográficos. Aunque los edificios podrían interpretarse como una prolongación del piso, su presencia dificulta el análisis posterior del terreno para propósitos muy diversos. Esta capacidad de remover la vegetación y otros objetos para dejar únicamente el terreno, es uno de los rasgos más útiles de la tecnología lídar. El resto de los puntos, es decir, aquellos que no corresponden ni a la primera superficie ni al suelo desnudo, se denominan puntos intermedios y comúnmente describen la estructura del follaje de los árboles y algunas construcciones que se encuentran ocultas por la vegetación alta.

Estos puntos tienen gran utilidad para visualizar por ejemplo las características del dosel de la vegetación y dependiendo de la densidad del levantamiento, permiten distinguir la forma de los estratos arbóreo y arbustivo. Cuando se visualizan junto con el resto de los puntos, es posible obtener perfiles para realizar la medición de distancias, alturas sobre el terreno, diámetro de la copa y otras de utilidad ecológica y forestal.

Sin embargo, su análisis es significativamente más complejo que el de los datos de suelo y de superficie, requiere de programas costosos y constituye uno de los principales temas de investigación en el campo del aprovechamiento de los datos lídar. Sus aplicaciones principales se han desarrollado en la gestión forestal, la determinación de biomasa y las estimaciones de captura de carbono entre otras. Si bien esta parte de los datos podría ser de utilidad para detectar y separar edificios ocultos bajo la vegetación en el ANP, los resultados suelen ser pobres a pesar de la aplicación de una cantidad significativa de tiempo y recursos, por lo que no se aplicó en la producción del mapa de asentamientos. Esto no representa un problema, ya que la vegetación en la zona es generalmente dispersa o se encuentra alineada en los bordes de las chinampas, de los caminos o de las propias construccioneas; las agrupaciones densas de árboles son muy escasas y se encuentran agrupadas solo en dos sitios dentro del ANP y para descartar la presencia de construcciones en ellas, se llevó a cabo una revisión visual de las nubes de puntos y de perfiles, sin que se haya detectado ninguna que no haya sido identificada mediante los procedimientos aplicados. Sí es común, en cambio, que árboles altos oculten parcialmente algunas edificaciones, impidiendo determinar su forma de manera automática, y en ese caso es necesario realizar trabajo manual, para ajustar la forma de los polígonos resultantes que se encuentren en este supuesto.

Es preciso mencionar que el agua absorbe completamente la parte del espectro correspondiente al infrarrojo cercano, que es la longitud de onda del láser utilizado para el levantamiento. Esto significa que donde existen cuerpos de agua no habrá retornos del láser ni puntos en la nube, excepto algunos reflejos aislados en franjas pequeñas, donde el láser incide casi verticalmente y se refleja especularmente en la superficie del agua. Estos retornos indican la elevación del nivel del agua y pueden ser de gran utilidad.

Sin embargo, el llenado de estos huecos cuando se produce el modelo digital de elevación puede ser problemático si son de gran extensión, ya que la triangulación no producirá una superficie plana, al igual que en el caso de los huecos dejados por edificios.

En el caso de este estudio se obtuvo un promedio de los puntos que indican la elevación del agua y se generaron artificialmente superficies planas con esa misma altitud, que se combinaron con el modelo de elevación lídar para representar de manera muy aproximada la superficie del agua. Por otra parte, para detectar las construcciones establecidas entre 2007 y 2014, se utilizó la nube de puntos de un levantamiento lídar del Distrito Federal realizado por el INEGI, con 0.5 puntos m^2.

El levantamiento lídar del INEGI de 2007 tiene una densidad relativamente baja y no permite reconstruir con suficiente detalle la forma de las edificaciones, pero sí su presencia o ausencia, de manera que fue de gran utilidad para detectar los sitios en los que aparecieron construcciones nuevas, a través de una comparación entre los modelos de elevación de 2007 y 2014. Las construcciones detectadas en 2014 que no existían en 2007 pueden ser etiquetadas posteriormente como nuevas y trazadas con detalle, con el apoyo de mapas catastrales o sobre los mosaicos digitales.

La segunda fuente de información utilizada fueron los mosaicos de la zona con pixel de 25 cm en color visible (Figura 13 a), infrarrojo cercano y falso color (Figura 13 b), producidos a partir de fotografías aéreas obtenidas simultáneamente al levantamiento lídar de la PQOT en el 2014. El mosaico en falso color está formado por la banda del infrarrojo cercano (filtrado entre 850 y 1100 nm), que proviene del mosaico infrarrojo, y por las bandas roja y la verde, que fueron extraídas del mosaico en color.

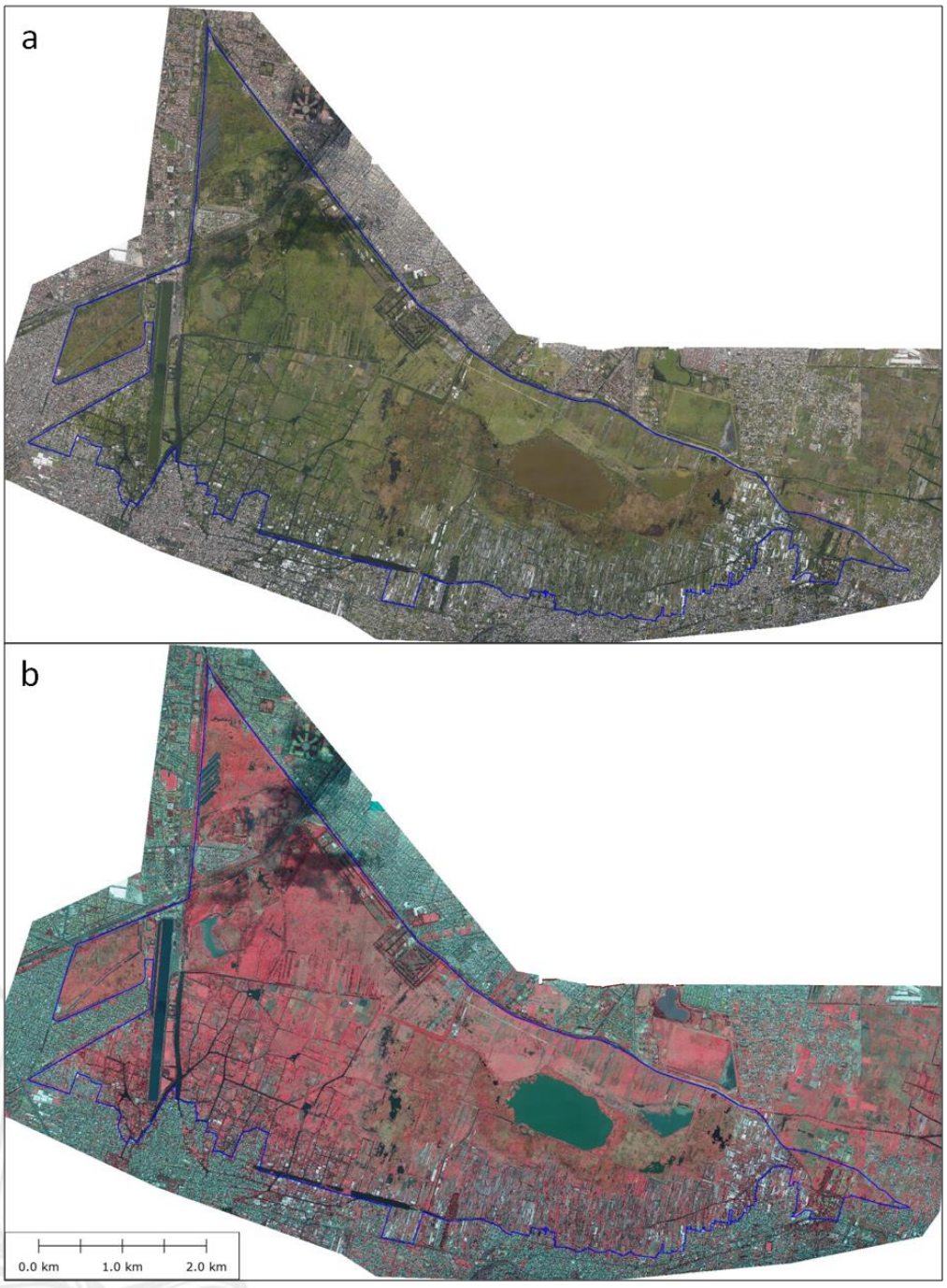

Figura 13. Ortomosaicos digitales del ANP con resolución de 25 cm/pixel, producidos a partir de fotografías aéreas obtenidas simultáneamente con el levantamiento lídar: **a)** Mosaico en color visble; y **b)** Mosaico en falso color, combinando las bandas infrarroja, roja y verde.

Estas bandas espectrales sirvieron para discriminar en las imágenes las zonas con vegetación de las ocupadas por construcciones, pero también fueron indispensables para corroborar la detección de asentamientos humanos a través de su interpretación visual. Sirven asimismo para ajustar la forma de los polígonos resultantes del análisis, cuando ésta haya sido afectada por la presencia de árboles o por limitaciones del algoritmo empleado para delinear las azoteas. Por otra parte, los valores de los pixeles de estas imágenes se utilizaron para asignar colores a los puntos de la nube de superficie que se encuentran sobre ellos, lo que facilita su visualización, filtrado e interpretación.

9.1.4 Resultados del procesamiento de datos lídar: nubes de puntos generadas

Estos dos tipos de datos (lídar y fotografía aérea multiespectral) proporcionan información distinta sobre el terreno que generalmente se aprovecha por separado, pero que puede utilizarse de manera complementaria para lograr una exactitud mayor que la que puede alcanzarse con cada una de las técnicas por separado.

La nube de puntos lídar proporciona información directa sobre la forma y dimensiones de los objetos, pero no sobre su naturaleza, es decir, sobre el tipo de objeto que representa cada punto. Por su parte, las fotografías aéreas mutiespectrales son adecuadas para identificar con una cierta exactitud las edificaciones por medio de una interpretación visual directa, o bien de métodos de clasificación automatizada, pero no muestran información sobre su forma tridimensional o su altura. Esto provoca incertidumbre al distinguir otras clases tales como el suelo desnudo, algunos invernaderos, explanadas y obras pequeñas de mampostería, que no necesariamente constituyen asentamientos humanos permanentes. A diferencia de los datos lídar, en las imágenes no es posible observar lo que se encuentra debajo del follaje, por lo que no es posible obtener modelos del terreno ni detectar construcciones debajo de éste.

La certeza al identificar positivamente las edificaciones que constituyen asentamientos humanos, se incrementa considerablemente cuando se utilizan ambos tipos de datos.

Considerando lo anterior, se siguieron los siguientes procedimientos en este estudio:

A. Nube de puntos 1: Diferenciación de la vegetación del resto de los objetos

En el caso del ANP no es posible realizar la identificación de viviendas siguiendo como criterio único las alturas obtenidas directamente a partir de las nubes lídar originales.

Por una parte, los algoritmos de clasificación no resuelven adecuadamente los edificios debido a que las azoteas tienen una superficie irregular por la presencia de mantas, tinacos, trabes techos inclinados o a la presencia de varios niveles en algunas de ellas.

Por otra, existe en la zona árboles que tienen una altura igual o superior a la de los edificios y algunos de ellos cubren parcialmente algunas construcciones o se encuentran en contacto con ellas. Independientemente de la proximidad de los árboles, si intentamos identificar las construcciones en función de su altura sobre el terreno, se producirá una gran cantidad de falsos positivos, ya que los árboles también serán detectados. Esto es relevante si tomamos en cuenta el hecho de que la cantidad de árboles de grandes dimensiones es mucho mayor que la de construcciones en la zona.

Debido a lo anterior, el primer paso del proceso consistió en distinguir los puntos que corresponden a la vegetación de los que describen el resto de los objetos (Figura 14). Para ello, se aplicó a los mosaicos el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), que aprovecha la diferencia en la respuesta de la vegetación en la bandas roja (R) y la del infrarrojo cercano (IRc), según la fórmula:

NDVI= (IRc-R) / (IRc+R)

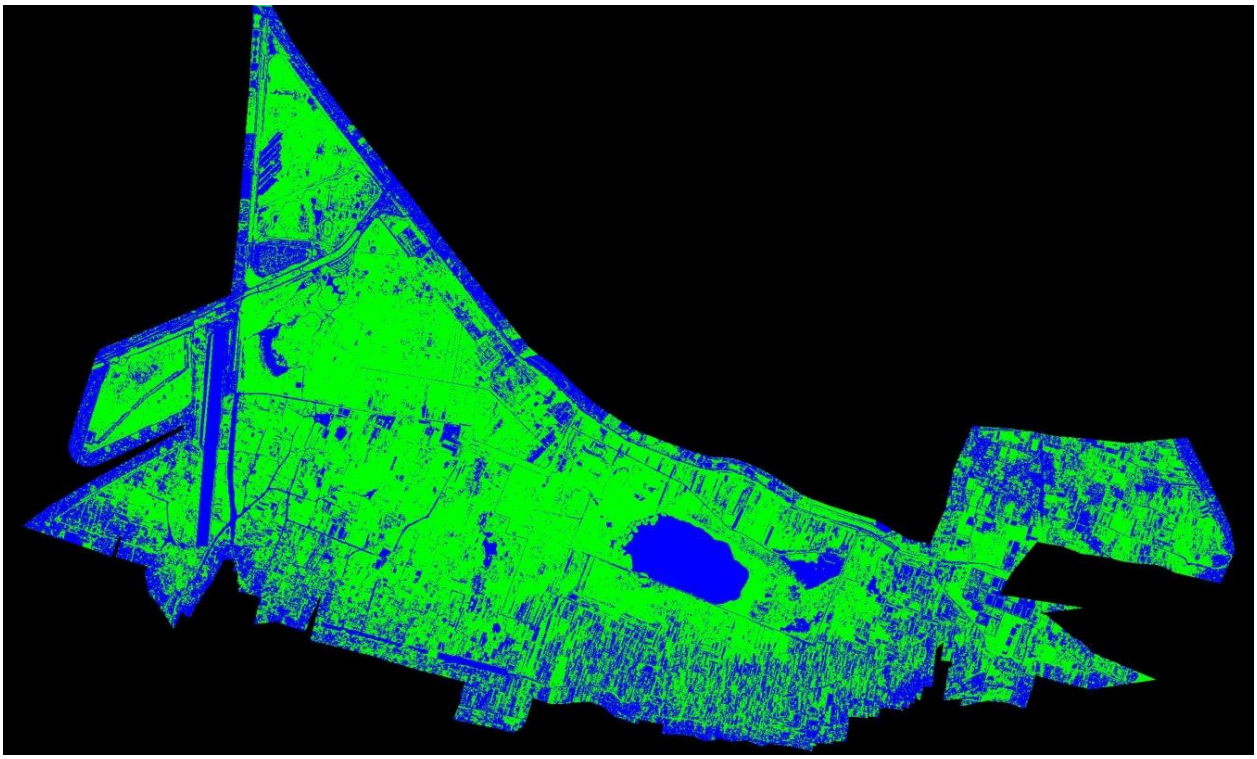

Figura 14. Imagen del índice NDVI. Las zonas coloreadas en verde indican la presencia de vegetación activa, en tanto que las azules representan el resto de los materiales, incluyendo construcciones, invernaderos, suelo desnudo y vegetación muerta o sin follaje, entre otros.

Entre otros alcances, este índice permite distinguir entre las partes de una imagen que representan la vegetación viva, es decir con actividad fotosintética, y el resto de los materiales, entre los que también se incluye la vegetación muerta o inactiva. La fórmula da como resultado una nueva imagen, en las que los pixeles pueden tener valores que se encuentran entre 1 y -1, aunque en ocasiones pueden salir de este intervalo. Valores superiores a 0 indican la presencia de vegetación, en tanto que valores negativos deben interpretarse como ausencia de ésta. A partir de la imagen NDVI se obtuvo otra imagen binaria, con sólo dos valores; uno para la presencia y otro para la ausencia de vegetación.

A continuación, los colores de la imagen binaria fueron asignados a los puntos que constituyen la nube de superficie y este atributo se utilizó para seleccionarlos diferencialmente. Los puntos azules fueron clasificados preliminarmente como edificios, y los verde como vegetación. Ésta última clase puede separarse posteriormente en vegetación baja, media o alta, utilizando un criterio altimétrico. Hay que hacer notar que esta forma de asignación de la clase de vegetación a los puntos sólo es válida para la nube de superficie, que corresponde a los rasgos que son visibles en los mosaicos. Por ejemplo, la nube intermedia contiene otros objetos que están debajo de la vegetación, pero encima del terreno y que serían clasificados erróneamente. Como la nube correspondiente al suelo ya había sido previamente clasificada como terreno, no fue necesario realizar ninguna otra acción sobre ella.

B. Nube de puntos 2: Altura de puntos sobre el terreno

La nube así clasificada quedó en condiciones de ser filtrada para eliminar todos los puntos de vegetación y realizar la discriminación de los objetos restantes en función de su altura. Sin embargo, los puntos de la nube representan elevaciones absolutas sobre el nivel del mar, y no la altura de los objetos sobre el terreno. Esto significa que algunas construcciones ubicadas en las zonas bajas tiene una elevación parecida a la del terreno en las zonas altas, y por lo tanto la elevación por sí misma no es un criterio suficiente para discriminarlas. Para resolver este problema, el paso siguiente fue generar una nueva nube de puntos que representara alturas sobre el terreno. Esto se logra a través de determinar la diferencia en elevación entre todos los puntos de superficie y un modelo de elevación del terreno, obtenido a partir de la nube correspondiente.

En la nube resultante (Figura 15), el terreno se convierte en una superficie plana con una elevación de 0 metros, y los puntos correspondientes al resto de los objetos representan su altura neta sobre el terreno.

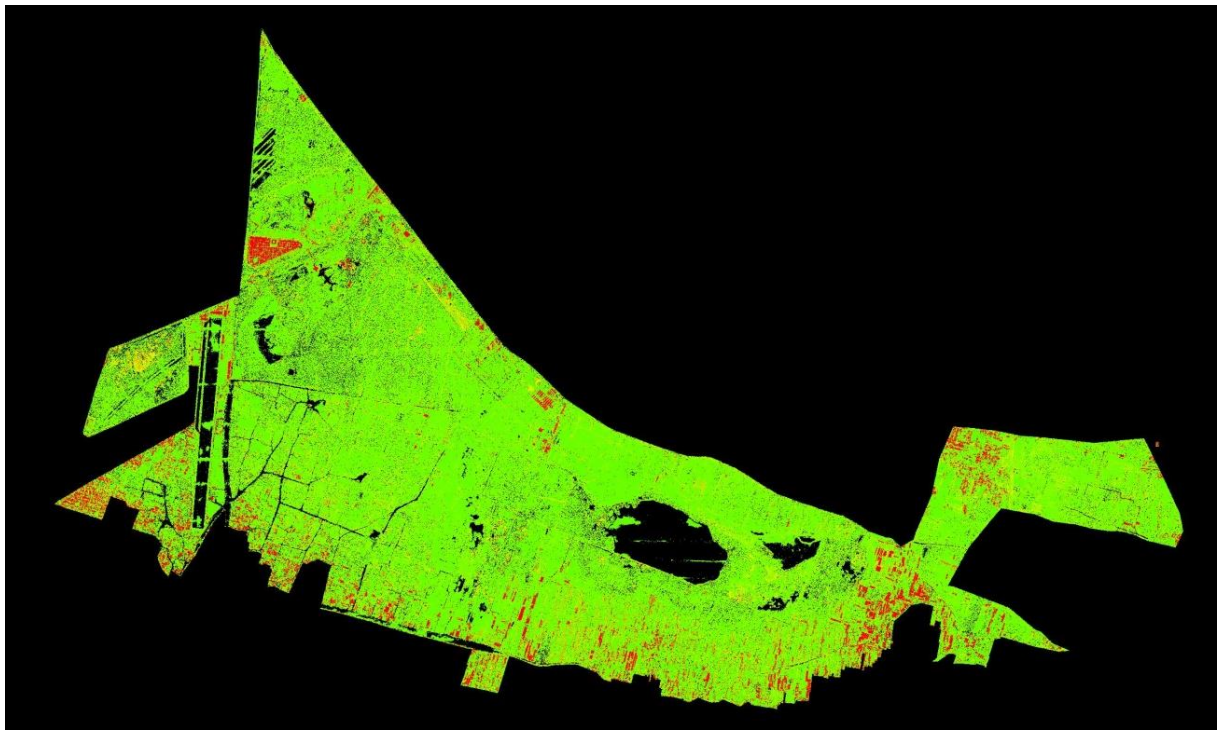

Figura 15. Nube de puntos de altura sobre el terreno. En ésta, el terreno se ubica en un plano con elevación de 0 metros, y los puntos de los objetos se ubican según su altura por encima de éste, enfatizando con mayor claridad las edificaciones y los árboles.

C. Nube de puntos 3: Remoción de puntos de vegetación

En la nube de alturas sobre el terreno, se filtraron y eliminaron los puntos correspondientes a la vegetación. Entre los puntos restantes, además de las construcciones permanentes y los invernaderos, se encuentran bardas, suelo desnudo, vegetación muerta o defoliada y puntos de vegetación media que por tener una actividad fotosintética baja no fueron clasificados como vegetación en el paso anterior, un detalle de la nube de puntos resultante se presenta en la Figura 16.

Figura 16. Detalle de la nube de puntos de altura sobre el terreno con los puntos de vegetación removidos. Ésta contiene principalmente información sobre las construcciones e invernaderos, pero también otros objetos o vegetación no clasificada, particularmente la de altura media.

Dado que un factor adicional que produce puntos erróneos, puede ser la falta de coincidencia entre algunos pixeles de la imagen y la nube lídar, debida a las diferencias en el punto de vista del sensor entre ambas fuentes; para reducir la interferencia producida por la vegetación media o baja, y por otros objetos presentes que no constituyen construcciones o instalaciones, se eliminaron los puntos con altura menor a 2 metros. Esto dejó fuera algunos sombreaderos e invernaderos bajos, pero garantiza una mejor discriminación de los asentamientos, bajo el criterio de que no es razonable que una vivienda permanente tenga una altura menor a esta cifra. Con la aplicación de este criterio, se reducen notablemente el ruido y los objetos no relevantes para el análisis.

Se verificó que en esta nube de puntos quedaron incluidas prácticamente la totalidad de las construcciones permanentes, y los invernaderos altos; en cambio, quedaron excluidos los invernaderos con altura menor a 2 metros, que posteriormente fueron digitalizados manualmente mediante una interpretación directa del mosaico en falso color. La identificación de las estructuras no capturadas por este procedimiento se realiza muy fácilmente de manera visual, al colocar la nube de puntos como una máscara sobre los mosaicos visible o de falso color, ya que las estructuras no incluidas destacan inmediatamente por sus tonalidades cercanas al blanco o gris claro.

Un caso particular en el que se excluyeron numerosos invernaderos, fue el de aquellos que tenían plantas maduras en su interior, y que durante la aplicación del NDVI fueron interpretados como vegetación, aún cuando en las imágenes visibles tenían una apariencia muy similar al resto. Este fenómeno es de interés para estudios posteriores, ya que demuestra que el material plástico de los invernaderos es transparente a las bandas roja e infrarroja, posibilitando la detección de plantas en su interior. Los puntos seleccionados hasta este paso son clasificados como edificios, con el fin de que puedan ser procesados en el paso siguiente.

D. Nube de puntos 4: Trazado de bordes de las azoteas con mas de 2 m

Finalmente, se aplica un algoritmo de trazado automático de bordes de la azoteas, que crea un polígono para cada construcción. Éste utiliza un criterio morfológico de proximidad y co-planaridad entre puntos para agruparlos, determinar cuándo se trata de una azotea y crear una superficie que se ajusta a éstos. El algoritmo intenta definir la forma de las azoteas tan detalladamente como lo permita la densidad de los puntos, aunque en algunos casos, cuando están muy próximas entre sí, tiende a unirlas en un solo polígono, o bien las une con puntos residuales que no fueron eliminados exitosamente en el paso anterior.

Esto no afecta la identificación de edificaciones y de zonas críticas dentro del ANP, aunque puede incidir en la determinación de las superficies cubiertas por ellas, por lo que es necesario verificar visualmente la forma de los polígonos sobre los mosaicos. El algoritmo funciona satisfactoriamente para invernaderos y techos de dos aguas, tras haber ajustado los parámetros morfológicos y sus tolerancias. Se utilizó una resolución para el trazado de vectores de 20 cm, y se configuró para intentar identificar las azoteas individualmente, estableciendo una distancia máxima entre planos de 50cm y un ángulo de coplanaridad de hasta 30 grados. Estos parámetros se seleccionaron tras probar diferentes combinaciones que resultaran adecuadas para la combinación de la nube de puntos disponible y la forma de las estructuras específicas presentes en el ANP. No se generaron superficies verticales para describir las paredes de las construcciones, ya que por una parte incrementan innecesariamente la complejidad y tamaño del conjunto de datos resultante, y por otra, son sólo un recurso visual que no tiene sustento directo en información sobre las paredes reales. Para identificar la presencia y altura de las construcciones, es suficiente la generación de polígonos tridimensionales dotados de datos de altura sobre el terreno. Además de estar altamente correlacionados con el número de pisos, pueden servir como indicadores de otros parámetros de análisis urbano, socioeconómico o ambiental que no son objetivo de este estudio. Debido a que las azoteas tienen una superficie compleja e irregular, los polígonos que describen la superficie no alcanzan a resolver estos detalles y se forman triángulos con orientaciones variables que unen los puntos, como una red de triangulación irregular (Triangulated Irregular Network, o TIN en ingles), comúnmente utilizada por los sistemas de información geográfica. Estas superficies se transformaron en polígonos planos asignándoles el valor de elevación dominante en los triángulos que las componen.

La nube de puntos resultante y un detalle de la zona con más asentamientos humanos así identificados se presenta en las Figura 17 y 18 respectivamente

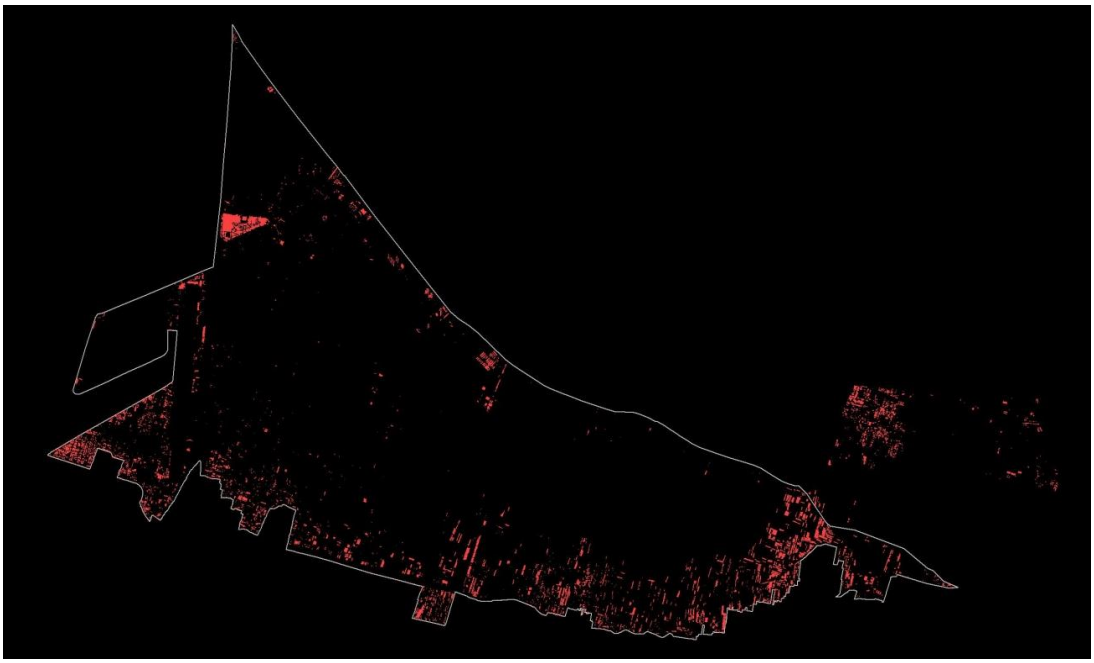

Figura 17. Capa actualizada (2014) de la distribución de los polígonos de construcciones e invernaderos dentro del ANP Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

Figura 18. Detalle de los polígonos correspondientes a las azoteas de las construcciones en el extremo suroeste del ANP, donde se registra la mayor presencia de asentamientos.

9.1.5 Comparación de los asentamientos humanos entre los años 2007 y 2014

El mapa generado a partir de la elaboración de la capa actualizada de asentamientos humanos dentro del Area Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, basada en la información altimétrica que proporcionan los datos lídar, junto con la información multiespectral contenida en fotografías aéreas de alta resolución permitió establecer la distribución real actualizada al 2014 de las estructuras que bajo el procedimiento metodológico descrito fue posible clasificar como construcciones y discriminarlas tanto de la vegetación como de otras estructuras que no pueden ser consideradas definitivamente como tales. De esta manera se cuenta ahora con la posibilidad de identificar, cartografiar y contabilizar las edificaciones permanentes que conforman asentamientos humanos consolidados o en formación dentro del ANP Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (ANP-EXSGA), así como aquellas instalaciones permanentes o removibles ubicadas en la zona de chinampas, para el año 2014.

Un ejemplo de la utilidad potencial de los resultados obtenidos en este estudio a partir del postprocesamiento de la información altimétrica y de morfología tridimensional de los asentamientos humanos, utilizando las nubes de puntos del levantamiento lídar realizado por la PAOT en el año 2014, se presenta en las Figuras 19 y 20 en las cuales se muestra un análisis comparativo de la distribución de los asentamientos humanos dentro del la zona suroeste del ANP-EXSGA confrontando los resultados obtenidos (capa actualizada 2014) contra los datos lídar de producidos en 2007 por el INEGI para identificar las construcciones nuevas que se establecieron durante ese período.

Esta capacidad de análisis espacial georreferenciado actualizado representa las nuevas herramientas potenciales para la toma de decisiones que la PAOT aporta como una contribución para avanzar hacia las posibles soluciones conducentes por parte de los respectivos responsables.

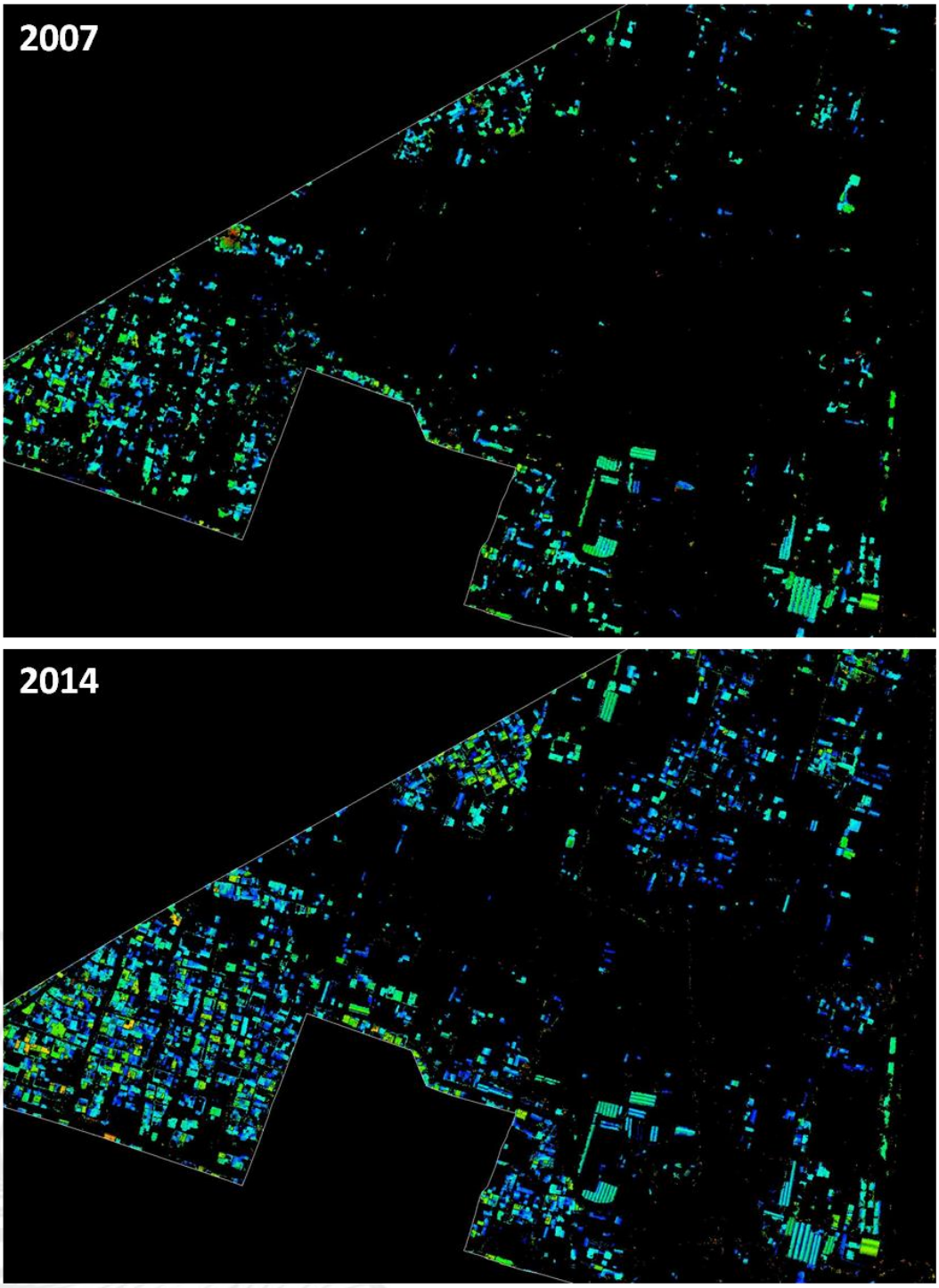

Figura 19. Comparación entre los asentamientos humanos dentro del ANP-EXSGA identificados en 2007 y 2014, en una de las zonas sujetas a mayor presión.

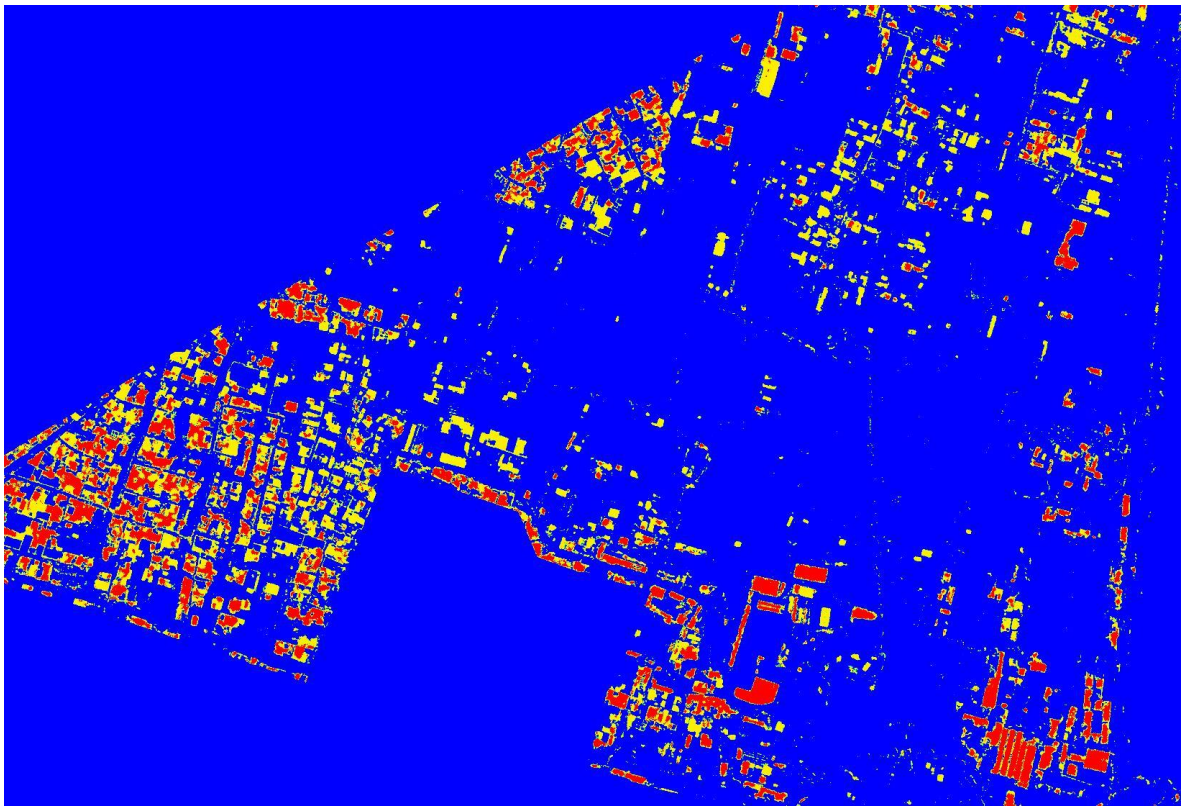

Figura 20. Diferencia entre los asentamientos presentes en 2007 (color rojo) y en amarillo se identifican las que fueron establecidas entre ese año y el 2014 en la zona suroeste del ANP una de las sujetas a mayor presión de invasiones y asentamientos irregulares dentro del Area Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

9.1.6 Aspectos relevantes a partir de los resultados obtenidos

Una primera observación que es preciso hacer, es el hecho de que el polígono de los límites del ANP-EXSGA, que hasta donde tenemos conocimiento fue construido directamente a partir de la información contenida en el decreto correspondiente del año 2006, no coinciden en muchos tramos con los que parecen ser los límites físicos del ANP sobre el terreno, ni con otros rasgos que presumiblemente fueron utilizados para definirlos.

Para descartar un posible error en la posición de los mosaicos y los datos lídar empleados, se comparó su coincidencia con ortofotos producidas por el INEGI, que deben ser consideradas como la referencia oficial, y se revisó la posición de los puntos GPS de control terrestre, quedando validada la posición correcta de éstos materiales. Esto tiene varias consecuencias. Por una parte, se utilizó el límite del ANP para determinar la extensión del levantamiento lídar, y también para definir el ámbito de los análisis realizados en este estudio. Esto provoca que el límite pase por encima de casas, calles y otros rasgos, partiéndolos por la mitad, por lo que los procedimientos utilizados cuantifican sólo la mitad de éstos.

En otras colindancias, el límite se introduce en vialidades que no pueden considerarse parte del ANP, o se encuentran desfasados en relación con bordos y canales que parecen haber sido los rasgos que definieron el trazado de límite original. Se descarta el uso de una proyección o un datum erróneos, porque el desplazamiento no es sistemático y las inconsistencias parece más bien haber sido originadas por la metodología con la que se determinó el trazo, cuyos vértices forman parte del decreto. Se sugiere revisar estas inconsistencias.

De manera preliminar, se detectaron 4,509 polígonos que incluyen construcciones permanentes, invernaderos y sombreaderos, cubriendo una superficie de 113.3 hectáreas. Estas cifras podrán desglosarse por clases, en función de los criterios que establezca la PAOT para determinar los tamaños mínimos de polígono que deben considerarse, así como para la inclusión en cada clase. En la cercanía a los bordes del ANP es donde más se presenta el uso de sombreaderos y viveros, y también donde es más agresiva la invasión urbana. Es posible que la pérdida de funcionalidad de los canales, debida principalmente al hundimiento de la parte central de la zona chinampera, haya contribuido a una disminución de la productividad de las chinampas en las zonas más altas y que esto, a su vez, haya dado lugar a la búsqueda de otras formas de aprovechamiento de la tierra, todavía con fines agrícolas.

Sin embargo, la disminución del nivel del agua también hace que en estas zonas sea más fácil la creación de caminos y la construcción de edificaciones permanentes, haciéndolas muy vulnerables a los efectos de la especulación inmobiliaria que caracteriza el crecimiento urbano en el Distrito Federal y en las principales ciudades del país.

Puede establecerse la hipótesis de que estos procesos guardan relación con los cambios topográficos e hidrológicos que han experimentado Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, que crean zonas menos rentables para la agricultura de chinampas y al mismo tiempo más susceptibles de ser urbanizadas.

La identificación de los invernaderos no es crítica puesto que son instalaciones temporales para fines agrícolas y no constituyen asentamientos humanos formados por construcciones permanentes, con carácter irreversible. Sin embargo, su inclusión en la cartografía elaborada es importante porque muestran cómo se distribuye espacialmente la tendencia al cambio del modelo agrícola en el ANP.

.

9.2 Análisis e interpretación de la capa actualizada de canales dentro del ANP

9.2.1 Alcances

Se actualizó el mapa de la red de canales determinándose cuáles se encuentran en funcionamiento a partir del análisis combinado de los ortofotomosaicos visible, infrarrojo y compuesto en falso color y de los datos LIDAR.

Se consideró que aún son funcionales ya sea porque actualmente conducen agua, porque aún mantienen una morfología adecuada para hacerlo, o bien porque es posible determinar a partir de información del contexto que esto ha ocurrido recientemente, aún cuando sea de manera intermitente.

9.2.2 Descripción y metodología de la elaboración de la capa actualizada

La elaboración de la capa actualizada de canales dentro del Area Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (ANP-EXSGA), se basó en la información altimétrica de los datos lídar de 2014 proporcionada por la PAOT, la cual conjuntamente con la información multiespectral contenida en fotografías aéreas de alta resolución adquiridas simultáneamiente al levantamiento permitió establecer la distribución real de los canales dentro del ANP-EXSGA actualizada al 2014.

En un primer procedimiento se procesó el modelo digital del terreno para identificar de manera semiautomática los canales en función de su menor elevación respecto del terreno circundante, por una parte, y por la presencia de bordes definidos, por otra.

A partir de esta identificación, se creó una primera capa de polígonos cuyo interior representa parcialmente la superficie ocupada por los canales. En una segunda fase se elaboró una capa ráster a partir de una segmentación de la banda infrarroja de los ortofotomosaicos, seleccionando los tonos de gris más obscuros que corresponden al agua. En este marco se probaron distintos umbrales para tomar en consideración zonas de agua con presencia de sedimentos, sólidos o vegetación acuática poco densa. Las zonas seleccionadas se vectorizaron de manera automática para formar polígonos. Posteriormente sobre el mosaico en falso color y el visible, se creó una capa ráster de canales cubiertos por vegetación acuática. Para ello se probarán los resultados obtenidos por medio de una clasificación multiespectral no supervisada y de una segmentación, para determinar qué método optimiza la detección de este tipo de vegetación.

Complementariamernte a este análisis, se hizo una interpretación visual de estas bandas para identificar zonas no detectadas mediante los análisis automáticos. La vegetación acuática presenta tonos característicos y textura que son diferentes de la vegetación terrestre y facilitan la interpretación visual. Con base en lo anterior las zonas ráster seleccionadas se vectorizaron en una capa de polígonos y se fusionaron los polígonos obtenidos en los pasos anteriores corrigiendose por métodos automáticos y manuales en esta fase maetodológica la topología de los polígonos que describen la red de canales, con apoyo de las imágenes y el MDT.

Con base en la inspección de los resultados se realizaron ajustes a partir de la interpretación visual. Los canales con vegetación acuática se consideraron como funcionales, ya que se infiere la presencia de agua subyacente, pero se mantuvieron como polígonos separados aún cuando sean prolongación de canales no cubiertos por vegetación acuátca y en buenas condiciones, ya que representan una situación de degradación potencial y eventual pérdida de funcionalidad.

Esta distinción es muy importante en términos de identificación y manejo de zonas prioritarias para la recuperación. La distinción quedó contenida en un campo de la tabla de atributos de la capa final. Para la determinación se consideró que los canales que se encuentran en zonas inundables, que tienen bordes mal definidos, que se han ensanchado y perdido su forma, ya no forman parte de la red de canales debido que posiblemente se encuentran en proceso de asimilarse a cuerpos de agua producto del hundimiento.

Por otra parte, los canales aún distinguibles pero que se encuentren cubiertos por suelo, vegetación terrestre o caminos y construcciones, especialmente en sitios ocupados por asentamientos humanos consolidados, no se consideraron funcionales. La capa actualizada a 2014 con los polígonos que describen la red de canales funcionales (Figura 21) se integró en formato "shape" con una tabla de atributos y campos para el nombre del canal, su condición de cubierto por vegetación o descubierto, la superficie que ocupa, así como si está en funcionamiento o no.

A pesar de que sólo se incluyeron canales funcionales, este último shape prevé la intención de agregar en el futuro canales no funcionales obtenidos de fuentes históricas, que pueden ser de utilidad para cuantificar la pérdida por hundimiento, por asentamientos irregulares o por cambios en l actividad agrícola.

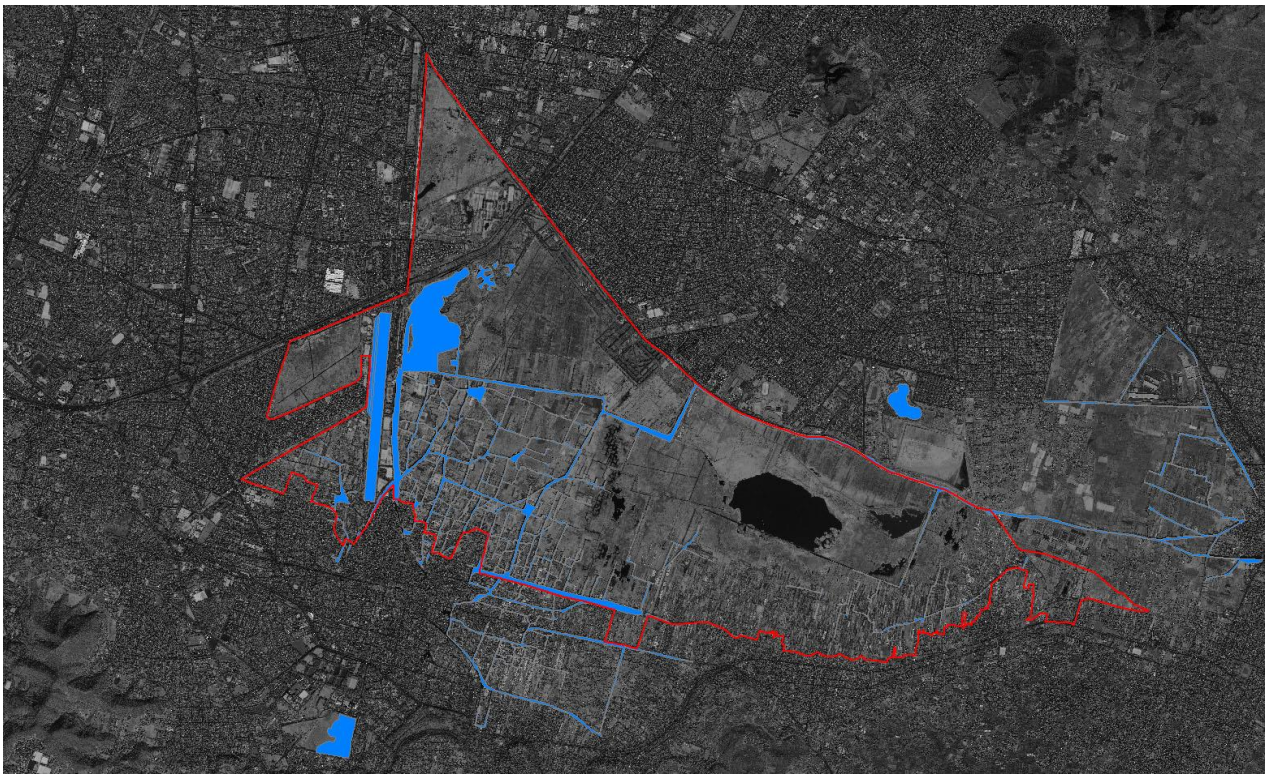

Figura 21. Capa actualizada (2014) de la distribución de los canales funcionales dentro del ANP Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

9.3 Entrega de las capas actualizadas de asentamientos y canales

La entrega de las capas actualizadas de asentamientos humanos y de canales dentro del ANP al personal del área técnica de la PAOT responsable del seguimiento estudio, incluyendo los shapes con metadatos acordes con el SIG-PAOT, quedo registrada en la Minuta de la reunión técnica de trabajo del 26 de noviembre de 2015 (Anexo 4) y después de la revisión y valoración correspondiente se consideró completa y a satisfacción por parte del área técnica de la PAOT .

10. RESULTADOS: CAPACITACIÓN DEL PERSONAL INVOLUCRADO EN EL MANEJO DEL SIG

0.1 Descripción de la capacitación

10.1.1 Características

Conjuntamente los consultores de la empresa GPPA y el área técnica de la PAOT responsable del seguimiento estudio definieron las características de la capacitación del personal involucrado en el manejo del SIG, así como los temarios correspondientes y una práctica de campo con drones.

Los acuerdos respectivos entre GPPA y la PAOT quedaron registrados en las Minutas de las reuniones técnicas de trabajo del 8 de septiembre (Anexo 1) del 29 de octubre (Anexo 3) y del 26 de noviembre de 2015 (Anexo 4), con los siguientes acuerdos finales:

Participantes: El perfíl técnico necesario y la selección de los participantes fue determinado por el personal del área técnica de la PAOT responsable del seguimiento del estudio.

Lugar: La capacitación de gabinete en un salón con las facilidades necesarias de mobiliario, audiovisuales y de cómputo. El ejercicio de capacitación en campo para la obtención de imágenes con drones proporcionados por GPPA en el sitio designado por el personal del área técnica de la PAOT responsable del seguimiento del estudio

Duración: 20 horas teórico-prácticas

Fechas:

- 2 de diciembre de 2015, en gabinete: Manejo e interpretación de datos LIDAR para generar cartografía de alta precisión.

- 3 de diciembre de 2015, en campo: ejercicios de capacitación en campo para la obtención de imágenes con drone

- 4 de diciembre de 2015, en gabinete: Fusión de información LIDAR con fotografía aérea

10.1.2 Temario de la capacitación en el tema del manejo e interpretación de datos LIDAR para generar cartografía de alta precisión

a) Revisión general de conceptos de los datos LIDAR.

b) Visualización de nubes de puntos LIDAR.

c) Selección, edición, recorte y exportación de nubes de puntos. Coloreado a partir de imágenes de percepción remota.

d) Filtrado de la nube por clasificación y número de retorno.

e) Separación de puntos correspondientes al terreno y a otros objetos. Clasificación manual de puntos en categorías estándar.

f) Creación de diseños de elevación del terreno y de primera superficie, obtención de curvas de nivel.

g) Segmentación de la nube de puntos y de los diseños de elevación por altitud.

h) Creación de polígonos a partir de segmentos del diseño de elevación. Recorte de la nube de puntos a partir de polígonos y manejo de datos vectoriales 3D.

i) Análisis del terreno con el programa Global Mapper: identificación de cuencas y generación de hidrografía.

j) Manejo e interpretación de perfiles obtenidos de diseños de elevación y de nubes de puntos.

10.1.3 Fusión de información LIDAR con fotografía aérea

a) Introducción al uso de sistemas de aeronaves no tripuladas (SANT) para la adquisición de fotografías aéreas para generar cartografía y diseños tridimensionales. Normas aeronáuticas relativas a la operación de SANT.

b) Cámaras, características de las imágenes, georreferencia y parámetros de los levantamientos.

c) Operación de SANT para adquirir imágenes verticales y oblicuas. Patrones y planes de vuelo. Experiencia práctica en el pilotaje de un SANT y adquisición de imágenes. Vuelo manual y vuelo automático.

d) Obtención de puntos de control terrestre a partir de datos LIDAR y de ortomosaicos existentes.

e) Creación de nubes de puntos, diseños de elevación y ortomosaicos, utilizando el programa Pix4D, versión Discovery. Procesamiento de las imágenes verticales y oblicuas obtenidas durante la práctica de vuelo.

f) Integración de datos obtenidos por medio de un SANT con datos LIDAR y otros datos geoespaciales. Verificación de la consistencia de los diseños. Integración de las nubes de puntos, actualización de datos LIDAR e identificación de cambios.

g) Discusión de la documentación de procesos biológicos, sociales y físicos con fines de diagnóstico, manejo y procedimientos administrativos.

10.2 Elementos documentales de la capacitación

- Las actividades de capacitación en gabinete sobre los temas de manejo e interpretación de datos LIDAR para generar cartografía de alta precisión y fusión de información LIDAR con fotografía aérea se llevaron a efecto con los temarios aprobados los días 2 y 4 de diciembre de 2015 contando con las facilidades necesarias de mobiliario, audiovisuales y de cómputo. Participantes (13 personas): por la PAOT: 8; por la SEDEMA: 2; por la CORENA: 2; y por la UNAM 1 (Figura 22),

- El ejercicio de capacitación en campo para la obtención de imágenes con drones proporcionados por GPPA, se llevó a efecto el 3 de diciembre de 2015 en las instalaciones de la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) en San Luis Tlaxialtemalco, Delgación Xochimilco sitio designado por el personal del área técnica de la PAOT responsable del seguimiento del estudio. Participantes (10 personas): por la PAOT: 5; por la SEDEMA: 3; por la CORENA: 1; y por la UNAM 1 (Figura 23),

Las respectivas lístas de asiistencia de los particpantes se presentan en el Anexo 7 de este informe final.

Figura 22. Actividades de capacitación en gabinete sobre los temas de manejo e interpretación de datos LIDAR para generar cartografía de alta precisión y fusión de información LIDAR con fotografía aérea los días 2 y 4 de diciembre de 2015.

Figura 23. Actividades del ejercicio de capacitación en campo para la obtención de imágenes con drones proporcionados por GPPA, realizado el 3 de diciembre de 2015 en las instalaciones de la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) en San Luis Tlaxialtemalco.