

2011



## REPORTE FINAL DEL PROYECTO DE MONITOREO DEL MANGLAR EN EL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD (RIVIERA MAYA) QUINTANA ROO, MÉXICO

### Salidas de campo:

Tec. SIG. José Luis Jiménez Cauich.

Biol. Ximena López.

M. en C. Miriam Reza Gaona.

Elaboró: M. en C. Miriam Reza Gaona  
Amigos de Sian Ka'an A.C.

2011



## Contenido

INTRODUCCIÓN.....	4
ANTECEDENTES.....	4
Acciones ASK-MARTI .....	5
Área de interés.....	5
METODOLOGÍA.....	6
Procesamiento de imágenes .....	6
Creación de mosaicos.....	6
Georeferenciación de mosaicos .....	6
Verificación en campo .....	6
RESULTADOS .....	7
Trabajo de gabinete .....	7
1.1 Recopilar y seleccionar información necesaria para evaluar las zonas costeras del municipio de Solidaridad que previamente habían sido identificadas como zonas potenciales con vegetación de manglar.....	7
1.2 Digitalización de zonas de manglar a partir de fotografías aéreas horizontales e imágenes SPOT pancromáticas para la generación de una capa de cobertura de manglares en el municipio de Solidaridad. ....	9
1.3 Sobre posición de capas temáticas de tipos de vegetación de INEGI, INF y CONABIO para comparar la información de zonas de manglar y con base a ello hacer la selección de sitios de muestro.....	11
1.4 Montaje de capas en formato shape de información (socioeconómica) como: carreteras, desarrollos turísticos, localidades, poblados, vías de comunicación y cambios de uso de suelo que han sido detectados en el municipio.....	11
Trabajo de campo .....	13
Actividades.....	13
2.1 Recabar puntos de muestreo de zonas de manglar en el municipio de Solidaridad. ....	13
2.2 Toma de datos de ubicaciones geográficas y adicionales con ayuda del GPS (GEOEXP08).....	13
2.3 Corroborar la presencia de vegetación de manglar e identificación de las especies presentes en el municipio.....	13
Cambio en la cobertura del manglar en el municipio de Solidaridad.....	28
Metodología.....	28

Resultados.....	28
Fragmentación del hábitat del manglar.....	30
Metodología.....	30
Resultados.....	30
Análisis de la evolución del paisaje.....	30
Número de parches .....	31
Tamaño medio de los parches.....	31
Distancia media del vecino más cercano .....	31
Coeficiente de variación del tamaño medio de los fragmentos.....	31
CONCLUSIONES.....	33
AGRADECIMIENTOS.....	34
Anexo 1. ....	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del municipio de Solidaridad.....	5
Figura 2. Marco metodológico.....	7
Figura 3. Fotografías aéreas utilizadas para digitalizar zonas de manglar.....	8
Figura 4. Zonas de manglar en el municipio de Solidaridad.....	10
Figura 5. Zonas de acceso en el municipio de Solidaridad. ....	12
Figura 6. Puntos de verificación en zonas de manglar del municipio de Solidaridad. .....	16
Figura 7. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Punta Brava a Punta Celis. .....	20
Figura 8. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Punta Paraíso a Punta Maroma. ....	21
Figura 9. Zonas de Manglar digitalizadas por ASK de Punta Bete a Punta Xcalacoco.....	22
Figura 10. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de las Brisas a Playa del Carmen.....	23
Figura 11. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Punta Piedra a Punta Yanten.....	24
Figura 12. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Yanten a Xpuha.....	25
Figura 13. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Xpuha a Xaak.....	26
Figura 14. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Xaak a Caleta Yalku. ....	27
Figura 15. Cobertura de manglar en los años 1976 y 2011 del municipio de Solidaridad. ....	29
Figura 16. Valores de las métricas de fragmentación para el paisaje manglar en el municipio de Solidaridad. ....	32

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de manglar están constantemente expuestos a impactos naturales y antrópicos (Menéndez, 2000)<sup>1</sup>. Tiene relevancia práctica interpretar un ecosistema a través de variables interrelacionadas. A partir de ello, el enfoque de las redes de impactos permite interpretar los cambios en estas variables como impactos, ya sean positivos o negativos, lo cual es de interés para la evaluación, el monitoreo y la gestión ambiental en general (Capote-Fuentes y Levins, 2006)<sup>2</sup>. El reconocimiento de los recursos naturales, su ubicación y cobertura, así como los tipos de actividades humanas y su distribución, son elementos necesarios para la planeación del uso de la tierra y el ordenamiento ecológico.

El estado de Quintana Roo cuenta aún con una importante riqueza forestal que, al igual que otras entidades del territorio nacional, sufren una presión demográfica creciente sobre los recursos naturales. Esto se puede observar en la transformación que se ha tenido a lo largo de 35 años sobre la zona costera, debido principalmente a las millonarias inversiones inmobiliarias y de carácter residencial, siendo el manglar uno de los más afectados.

Para emprender acciones de conservación de manglares consideramos pertinente contar con la identificación cartográfica de zonas de manglar, evaluando el espacio geográfico para comprender el significado y la utilidad que presenta la evaluación y monitoreo de los recursos naturales desde un contexto espacial y temporal.

## ANTECEDENTES

Gracias al apoyo de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), en Octubre de 2008 Amigos de Sian Ka'an (ASK), en colaboración con el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), implementó un sistema de monitoreo aéreo del cambio de uso de suelo en la costa de Quintana Roo, siendo este proyecto el primero en su tipo que se lleva a cabo en México. Constó en la realización de 9 vuelos en un período de 10 meses a lo largo de la costa de Quintana Roo para obtener fotos escala 1:5,000, obteniendo 13,494 fotografías aéreas de alta resolución que ayudaron a construir mosaicos base georeferenciados, los cuales sirven para los procesos de evaluación y monitoreo de los recursos naturales a lo largo del tiempo.

La evaluación de los cambios de uso de suelo consistió en comparar la misma ruta de vuelo pero en fechas diferentes. Sin embargo, tan sólo en 6 meses se detectaron cambios significativos en el uso de suelo. Las principales modificaciones al uso de suelo incluyen

<sup>1</sup> Menéndez, L. (J. Proy.) (2000): Bases Ecológicas para la Restauración de Manglares en Áreas Seleccionadas del Archipiélago Cubano y su relación con los Cambios Climáticos Globales (Código 01302123). Programa Nacional de Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano

<sup>2</sup> Capote-Fuentes, R. T y R. Levins. 2006: Modelación matemática cualitativa como apoyo a la dirección de la gestión ambiental. Tercer Seminario Bienal Internacional acerca de las Implicaciones Filosóficas, Epistemológicas y Metodológicas de la Teoría de la Complejidad. Habana, Cuba.

desmontes en zonas de selva y manglar, aperturas de nuevos caminos, construcciones, destrucciones de áreas verdes, remociones de escombros y remodelaciones a hoteles. Actualmente, la zona costera del municipio de Solidaridad presenta la mayor cantidad de cambios de uso de suelo, seguido por la zona costera del municipio de Benito Juárez y Tulum, respectivamente.

### Acciones ASK-MARTI

El continuo desmonte de manglares, por la razón que sea, debe ser considerado y evaluado mucho más allá del desarrollo por conveniencia e interés, hacia un futuro para la vida y una vida sostenible en este estado que hoy está siendo amenazado. Debido a esto ASK-MARTI sigue trabajando en la evaluación del manglar en la zona costera de Quintana Roo. Los primeros resultados consistieron en crear una capa base de fotografías aéreas georeferenciadas del municipio de Tulum mediante la cual se obtuvo una superficie aproximada de zonas de manglar y adquisición de puntos de verificación.

Como parte de seguimiento se continuó trabajando en el municipio de Solidaridad creando el mosaico base, digitalizando zonas de manglar y verificación en campo.

### Área de interés

Municipio de Solidaridad en Quintana Roo, México. Figura 1.

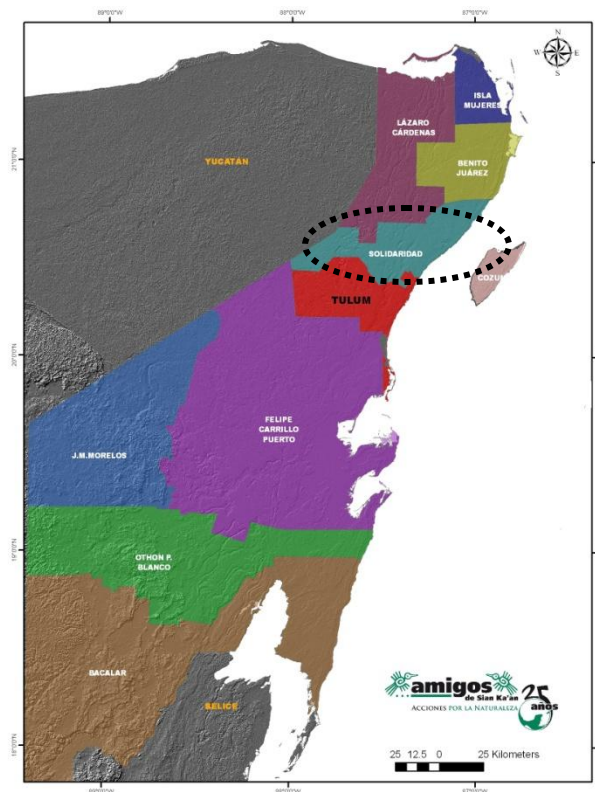


Figura 1. Ubicación del municipio de Solidaridad.

## **METODOLOGÍA**

### **Procesamiento de imágenes**

La información de cada una de las fotografías aéreas de los vuelos se ingresaron al programa ROBOGEO, el cual tiene la capacidad de guardar la información fotográfica (latitud, longitud, hora, fecha, etc.) en una base de datos. Posteriormente, la base de datos se exportó a formato shape, creando una capa cartográfica por cada uno de los vuelos realizados, figura 2.

### **Creación de mosaicos**

Se identificaron las fotografías para la realización de mosaicos, descartando las fotografías con nubosidad y que cubran menos del 50% de parte terrestre. Posteriormente, se traslaparán las fotografías del área de interés, utilizando el método Affine del software ERDAS, consecutivamente, se comenzará el proceso de armado de mosaicos, utilizando el módulo Mosaic Pro del software ya mencionado; se aplicó el método *Nearest neighbor*; utilizando la corrección de color Histogram Matching; suavizando la unión de las fotos con el método feathering y finalizando el proceso guardando el archivo con extensión .tif .

### **Georeferenciación de mosaicos**

Los mosaicos se georeferenciaron utilizando el módulo Auto Sync del software Erdas, usando imágenes de satélite Spot pancromáticas y multi-espectrales del año 2008 como referencia. Posteriormente, se agregaron puntos de control para ir ajustando la imagen, utilizando parámetros previamente establecidos.

### **Digitalización de zonas de manglar**

La digitalización de zonas de manglar fue realizada utilizando el software Arc Map 9.2, utilizando la extensión *editor*. La digitalización se realizó a una escala 1:3,000, con fotografías de alta resolución (0.4 m tamaño de pixel).

### **Verificación en campo**

Una forma de asegurarnos de que el tipo de vegetación y ubicación real que se identificó en las fotografías sea la correcta es realizando la toma de puntos de control. El método consiste en buscar en las fotografías puntos claramente identificables y posteriormente, se determinarán sus coordenadas en campo con la ayuda de un GPS Geo Explorer XM, tomando 3 puntos como mínimo para cada fotografía seleccionada. Para la toma de estos puntos se seleccionaran sitios del municipio de Solidaridad.



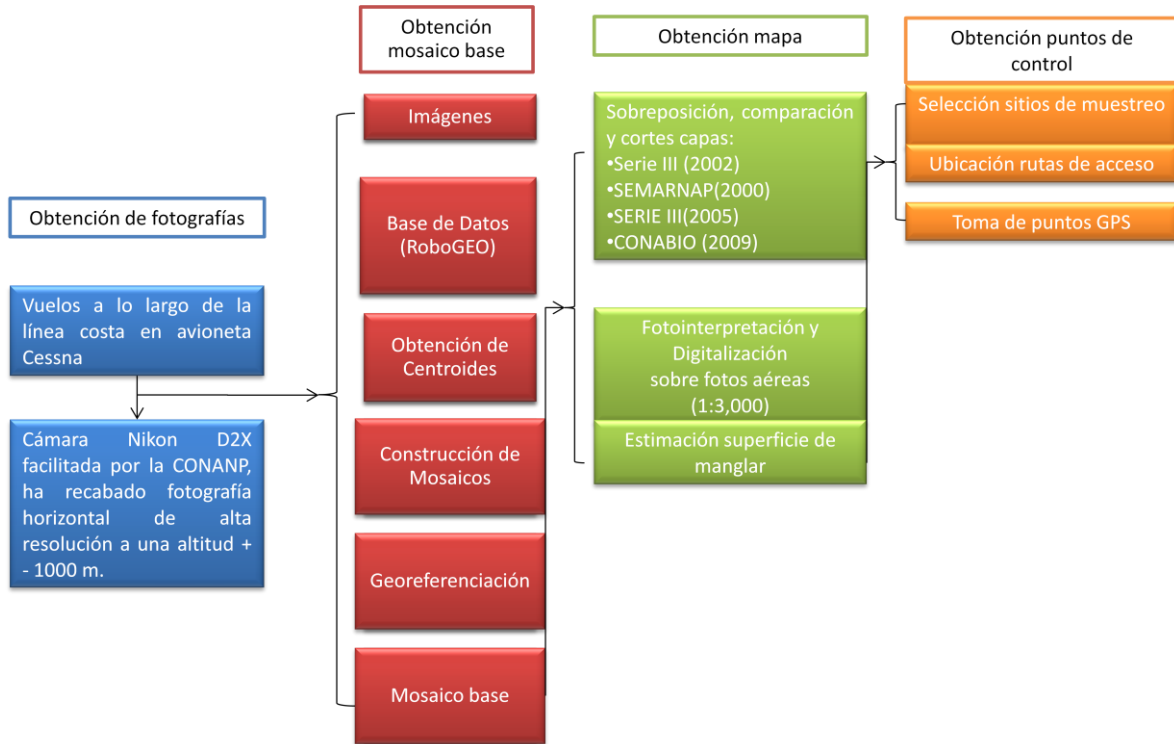


Figura 2. Marco metodológico.

## RESULTADOS

Los resultados que se muestran a continuación sólo abarcan la entrega del mosaico base del municipio de Solidaridad y la digitalización de las zonas de manglar, conforme a lo estipulado en el convenio.

### Actividades

#### Trabajo de gabinete

1.1 *Recopilar y seleccionar información necesaria para evaluar las zonas costeras del municipio de Solidaridad que previamente habían sido identificadas como zonas potenciales con vegetación de manglar.*



## Resultado

Se utilizaron fotografías aéreas que fueron tomadas el 2 de octubre de 2008, logrando cubrir gran parte del municipio, sin embargo existieron huecos en el mosaico base por lo que se utilizaron 9 fotografías del vuelo realizado el 5 de junio de 2010. Se georeferenció un total de 196 fotos contenidas en 57 mosaicos, de estos 57 mosaicos 3 corresponden a las fotos del vuelo del 5 de junio (Anexo I). La razón por la que se utilizaron las fotos del 2008 y no las del 2010 fue debido a que gran parte del material fotográfico no cubrían la zona o presentaban nubes, figura 3.

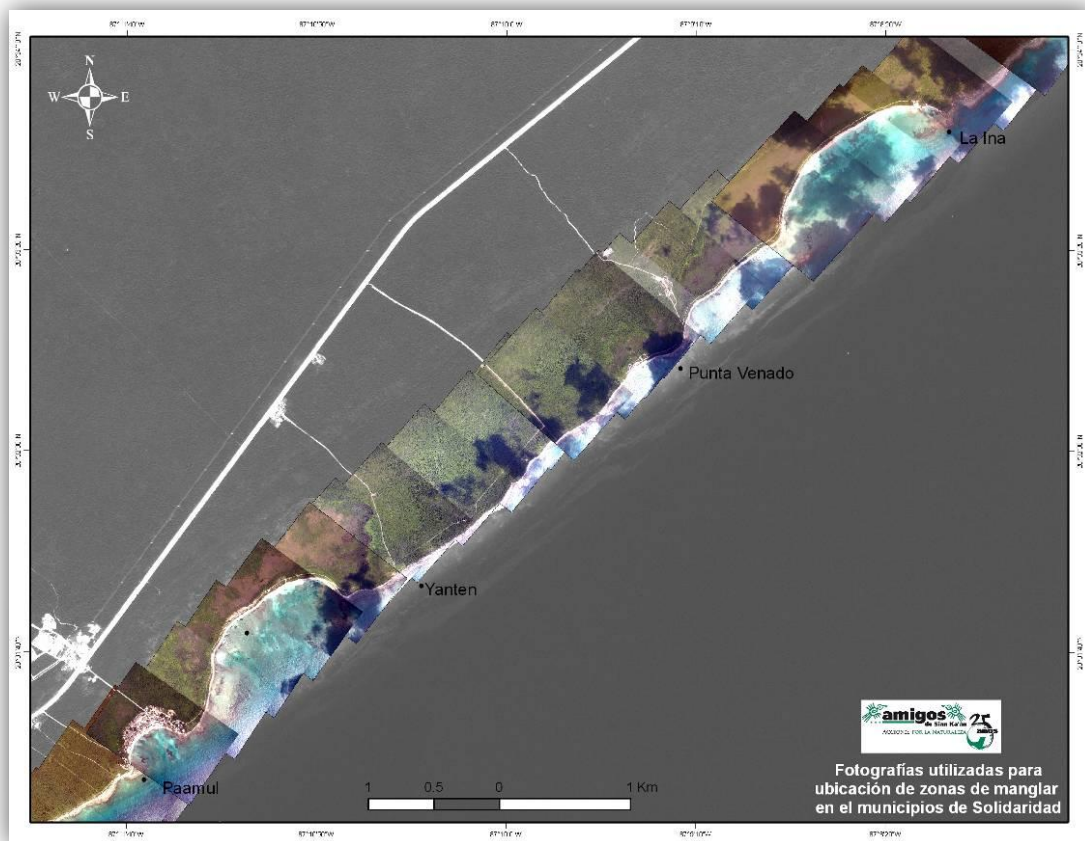
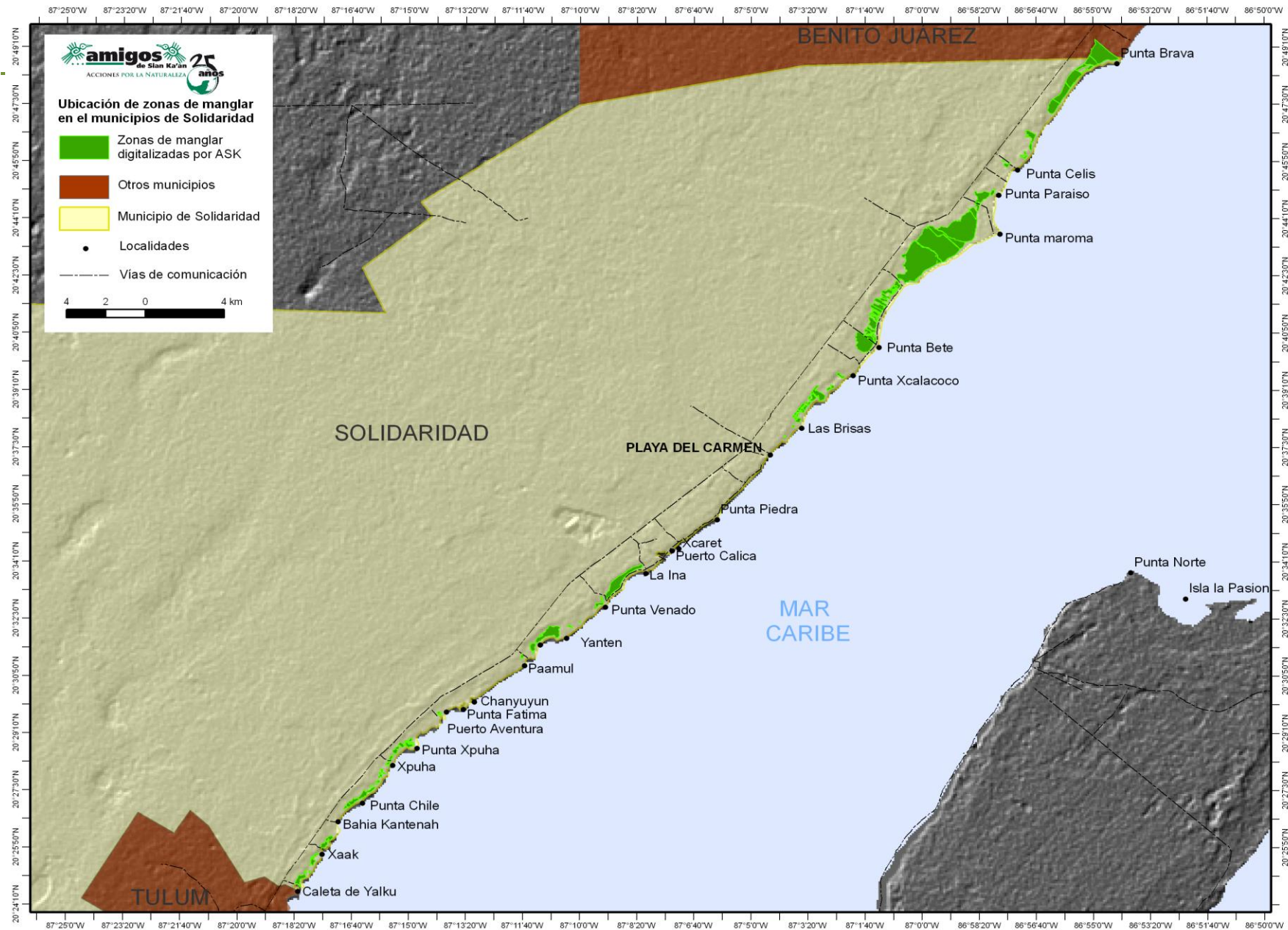


Figura 3. Fotografías aéreas utilizadas para digitalizar zonas de manglar.

*1.2 Digitalización de zonas de manglar a partir de fotografías aéreas horizontales e imágenes SPOT pancromáticas para la generación de una capa de cobertura de manglares en el municipio de Solidaridad.*

## **Resultado**

Se recopiló y seleccionó la información necesaria para evaluar las zonas que previamente habían sido identificadas como zonas potenciales con vegetación de manglar, las cuales se digitalizaron a partir de fotografías aéreas horizontales e imágenes SPOT pancromáticas, generando una capa de cobertura de manglares en el municipio de Solidaridad. Con base a la digitalización se estimó una superficie de manglar de 1,456 ha obtenida a partir de fotos escala 1:5,000. La cual se modificó con las salidas de campo, debido a que se ampliaron polígonos por la presencia de zonas de manglar no digitalizadas, figura 4.



**Figura 4. Zonas de manglar en el municipio de Solidaridad.**

1.3 *Sobre posición de capas temáticas de tipos de vegetación de INEGI, INF y CONABIO para comparar la información de zonas de manglar y con base a ello hacer la selección de sitios de muestro.*

## Resultado

La sobre posición de capas temáticas de tipos de vegetación de INEGI, escala 1:250, 000; Inventario Nacional Forestal, escala 1:250 000 y CONABIO, escala 1:50 000, permitió comparar la información de zonas de manglar y superficie (tabla 1) y con base a ello se hizo la selección de sitios de muestro. Se dio prioridad a aquellas zonas que no aparecen en las cartas de INEGI e INF pero que si han sido identificados por la CONABIO. Cabe resaltar que todos aquellos sitios que habían sido identificados por ASK como zonas de manglar previo al trabajo e campo, coincidieron la mayor parte con los resultados de CONABIO.

Serie III (INEGI)	Inventario Nacional Forestal (2000). SEMARNAP	CONABIO (2009).
Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)
<b>1853.50</b>	<b>1336.39</b>	<b>1542.96</b>

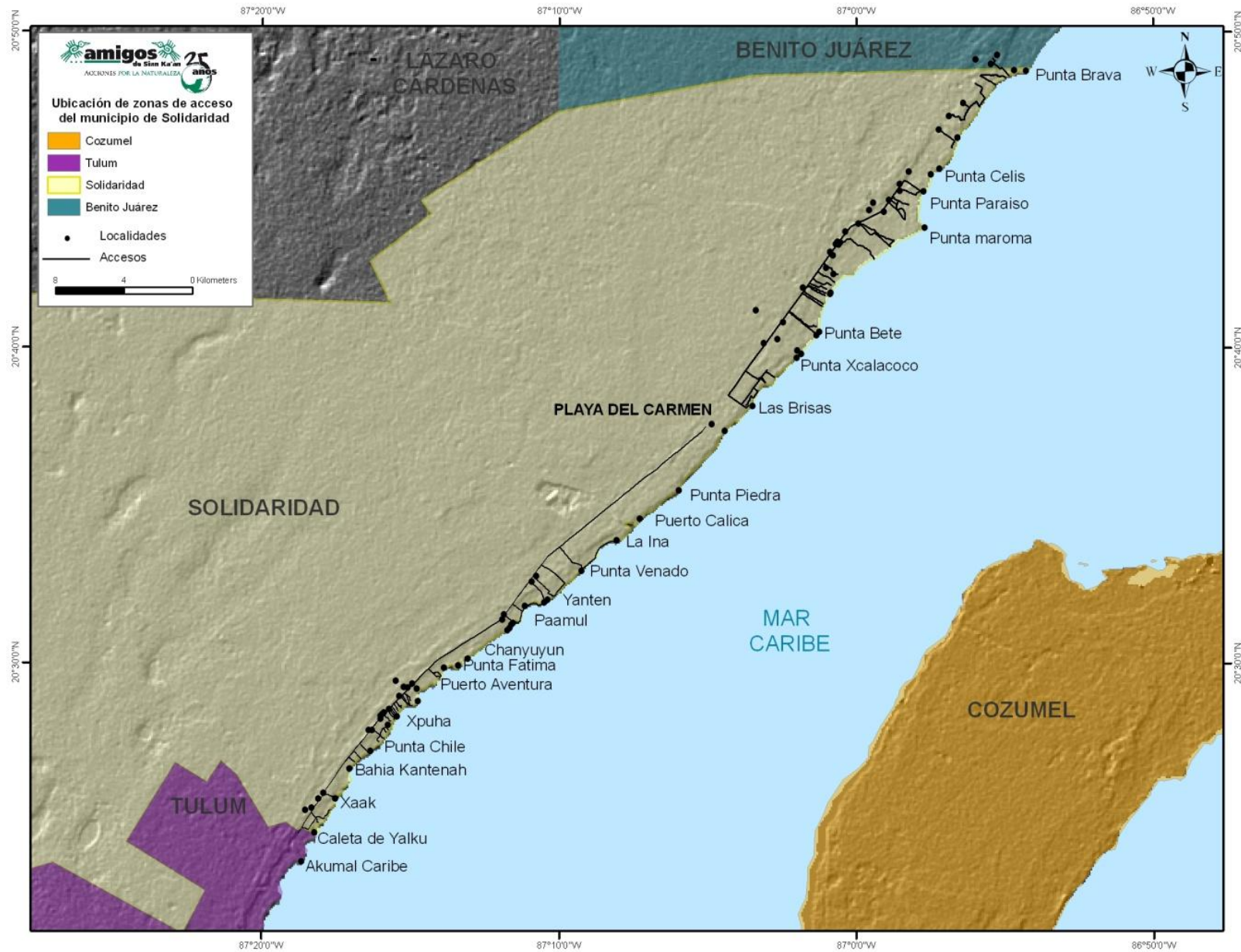
**Tabla 1. Superficie de manglar de diferentes fuentes cartográficas.**

1.4 *Montaje de capas en formato shape de información (socioeconómica) como: carreteras, desarrollos turísticos, localidades, poblados, vías de comunicación y cambios de uso de suelo que han sido detectados en el municipio*

## Resultado

Para ubicar las rutas de acceso a las zonas de manglar, se digitalizaron en Google Earth todos los posibles caminos y brechas de acceso que permitieran llegar a los sitios. El resultado de esto, fueron archivos .kml que posteriormente se transformaron a archivos .shp, a los cuales se les asigno un sistema de coordenadas y proyección cartográfica, UTM WGS 84. Se digitalizaron un total de 130 km de vías de acceso del municipio de Solidaridad. A su vez se consideraron 88 localidades que sirvieron como referencia para llegar a las zonas de manglar, figura 5. Al equipo GPS (GEOEXP08) se cargaron las capas de información, esto para que con ayuda de la brújula de orientación fuera más fácil la ubicación y aproximación a los sitios. Previamente fue configurado a proyección UTM, Datum WGS 84.





**Figura 5. Zonas de acceso en el municipio de Solidaridad.**

## Trabajo de campo

### Actividades

- 2.1 *Recabar puntos de muestreo de zonas de manglar en el municipio de Solidaridad.*
- 2.2 *Toma de datos de ubicaciones geográficas y adicionales con ayuda del GPS (GEOEXP08).*
- 2.3 *Corroborar la presencia de vegetación de manglar e identificación de las especies presentes en el municipio.*

### Resultado

Se realizaron 2 salidas de campo intensivas (10 días) en los meses de junio y agosto. Se invitó al Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA) a participar en estas salidas de campo bajo el marco de colaboración existente en el tema de manglar. Posteriormente en el mes de Octubre se tuvo otra salida más en la cual participo únicamente ASK. En la primera salida de campo las localidades principales donde se recabaron puntos de muestreo y verificación fueron de Punta Brava a Punta Chile, recorriendo un total de 58 km de los 65 km de la zona costera del municipio, colectando 70 puntos de verificación. En cada uno de los sitios de interés se tomaron datos de ubicaciones geográficas y adicionales con ayuda del GPS (GEOEXP08). Previo a la toma de los mismos, se verifico que los satélites conectados fueran los óptimos para la toma de información (mínimo 4) y que la geometría de los mismos correspondiera al mejor arreglo (valores de PDOP menores a 5). Se corroboró la presencia de vegetación de manglar y se procedió a la identificación de las especies presentes, adicionalmente se verifico cual de las que se encontraban era la más abundante y que otras especies de manglar, si era el caso le acompañaban.

Con esta salida nos dimos cuenta de lo difícil que es acceder a las zonas de manglar que se encuentran dentro de los hoteles, se intento ingresar a muchos de ellos pero el acceso fue negado. Debido a esto se realizaron cartas dirigidas a los gerentes de los hoteles, explicando el objetivo del proyecto, sin embargo sólo tuvimos respuesta del Hotel Tres Ríos y un predio de propiedad privada llamado Kanai, administrado por Amytis S.A de C.V.; con este último se tuvo una reunión para explicarles el objetivo del proyecto, se anexa la minuta de la reunión en un archivo aparte.

Posteriormente se realizó la segunda salida de campo recabando puntos de verificación en el parque ecológico Tres Rios y en el predio de propiedad privada "Kanai" ubicado a un costado del hotel. A su vez se realizó verificación en los sitios que van de Punta Bete a Punta Las Brisas (Playa del Carmen).

En el Hotel Tres Ríos se realizó una caminata de aproximadamente 5 km y se obtuvieron 18 puntos de control. Las especies que se encontraron fueron: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Conocarpus erectus* (botoncillo) y *Avicennia germinans* (mangle negro) predominando en su mayoría las dos primeras especies mencionadas así como también se registro la ubicación de cinco cenotes (Cenote Águila, Cenote Tortuga, Cenote Hondo, Cenote Escondido y Cenote Orquídeas). Posteriormente nos trasladamos a Playa del Carmen (entre Punta Las Brisas y Punta Xcalacoco) recorriendo 2 km obtuvimos 8 puntos de verificación, en esos sitios las especies predominantes fueron *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* (botoncillo).

En el predio privado "KANAI" ubicado a 13 km al norte de Playa del Carmen nos esperaban sus representantes para darnos acceso. En este predio se recabaron 27 puntos de verificación a lo largo de 1.8 km sobre la línea de costa y el límite de la duna costera, a su vez se recabaron 20 puntos de control en diferentes sitios dentro del predio en el cual se pudo observar que las especies que predominan son *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Conocarpus erectus* (botoncillo). Siguiendo con la verificación nos trasladamos cerca de Punta Bete en donde se obtuvieron 5 puntos de verificación. Las especies presentes fueron: *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) en condiciones un poco desfragmentadas. Al igual que en Punta Xcalacoco se tomaron 5 puntos de verificación observándose la presencia de las cuatro especies de manglar (un poco dispersas debido a la desfragmentación por caminos, construcciones, etc.) *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Conocarpus erectus* (botoncillo) y *Avicennia germinans* (mangle negro). Por lo que en esta salida de campo se registró un total de 83 puntos de verificación que abarcan desde Punta Maroma hasta Punta las Brisas (dentro de Playa del Carmen), tabla 2.

#### *Salidas de campo posteriores al reporte parcial*

Después de la entrega del reporte parcial, se contacto junto con Mesoamerican Reef Tourism Initiative (MARTI) a los gerentes de sustentabilidad de los hoteles del municipio de Solidaridad a los cuales no se pudieron acceder. Se contacto a un total de 9 hoteles, a los cuales se les envió una carta de intención y una presentación de lo que se haría en la propiedad. Sólo se tuvo respuesta de la cadena Karisma (que administra 5 hoteles) y del Hotel Ocean Maya. Con la cadena Karisma se tuvo una reunión donde estuvieron presentes los gerentes de calidad y/o sustentabilidad y se les dio una presentación del proyecto en donde nos otorgaron el permiso para entrar a los diferentes hoteles. Conforme a esto se prosiguió con las salidas de campo, el primer hotel fue el Ocean Maya, donde se obtuvo un total de 11 puntos de verificación, las especies presentes fueron: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* (botoncillo), los cuales se encontraban en buen estado de conservación.



Posteriormente nos trasladamos al primer hotel de la cadena Karisma, Dorado Maroma en donde se obtuvieron un total de 24 puntos de verificación las especies presentes fueron las mismas que en el Ocean Maya sin embargo la predominancia de especies era de mangle rojo y botoncillo, figura 6. Lamentablemente no pudimos continuar con la toma de puntos de verificación debido a que cuando nos trasladamos al hotel Dorado Sea Side nos negaron la entrada a pesar de que ya nos habían dado el permiso. La razón se explicó más tarde a por medio de un correo que decía que por decisión directa de los propietarios no nos podían otorgar el acceso.

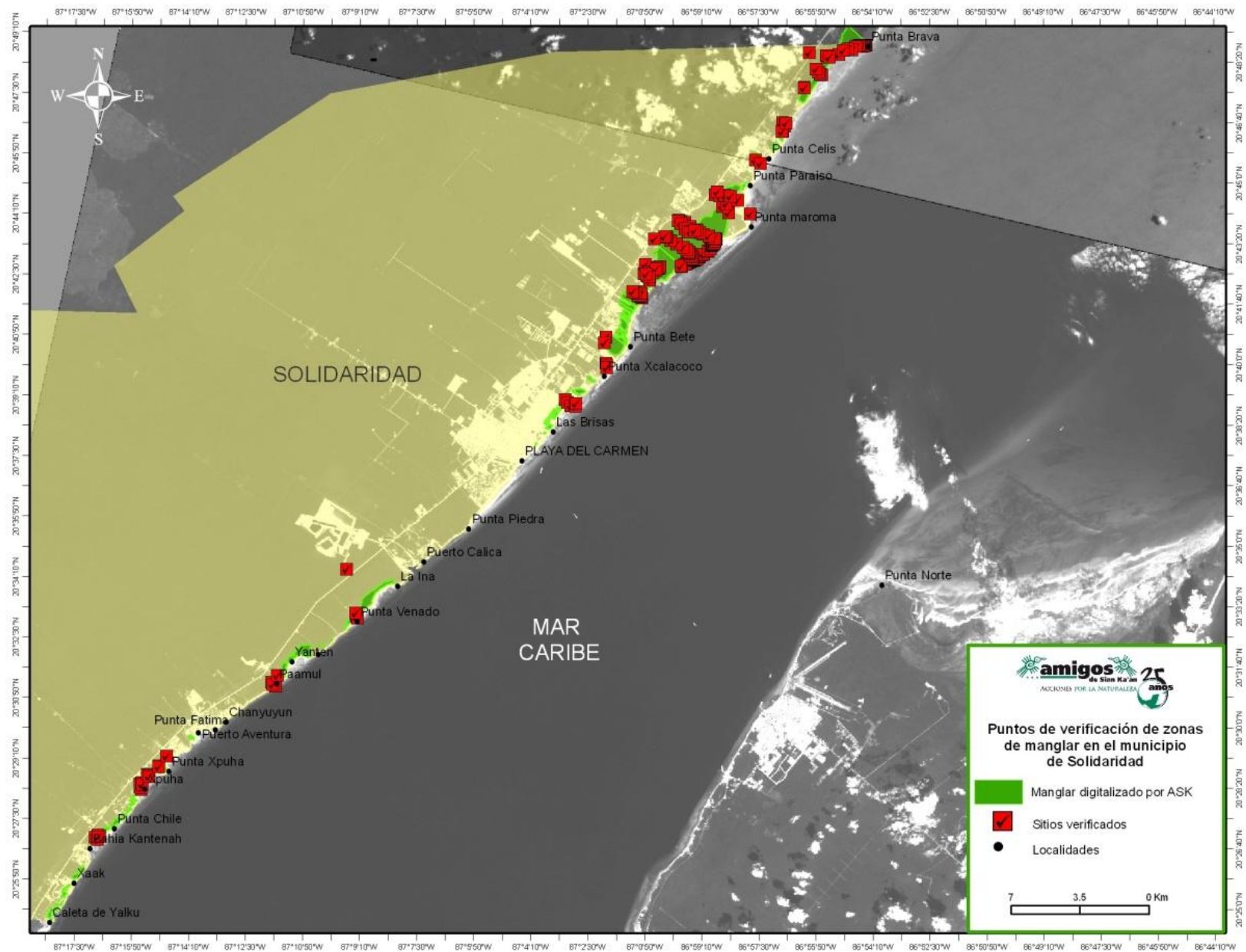


Figura 6. Puntos de verificación en zonas de manglar del municipio de Solidaridad.

Sitios	# puntos de verificación
Punta Brava-Punta Chile	70
Tres Río	18
Las Brisas y Punta Xcalacoco	8
Predio Kanai	47
Punta Bete	5
Punta Xcalacoco	5
Ocean Maya	11
Dorado Maroma	24
<b>TOTAL</b>	<b>188</b>

**Tabla 2. Puntos de verificación en el municipio de Solidaridad.**

Se puede decir que en la zona costera del municipio se encuentran presentes 4 especies de manglar: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Conocarpus erectus* (botoncillo) y *Avicennia germinans* (mangle negro). Las especies predominantes en los sitios de verificación fueron *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*, tabla 3. Con base a lo observado en campo en los 8 diferentes sitios y considerando los registros en cada sitio de verificación se puede decir que el porcentaje de presencia de manglar en los diferentes sitios verificados es de 42% mangle rojo, 29% mangle blanco, 24% botoncillo y 5% mangle negro, tabla 4. Las diferentes especies de mangle difieren en su tolerancia a la salinidad (halófitas), a las bajas concentraciones de oxígeno, a la estabilidad del sustrato, a la frecuencia de inundación (hidroperíodo), a la relación precipitación- evaporación, y a las características del relieve, entre otros factores, los cuales serán determinantes también para la “zonación” o patrones de distribución de las diferentes especies (CONABIO, 2009)<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> CONABIO. 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. 2a ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.99.

Sitios	# puntos de verificación	Mangle rojo ( <i>Rhizophora mangle</i> )	Mangle blanco ( <i>Laguncularia racemosa</i> )	Mangle botoncillo ( <i>Conocarpus erectus</i> )	Mangle negro ( <i>Avicennia germinans</i> )
Punta Brava-Punta Chile	70				
Tres Ríos	18				
Las Brisas y Punta Xcalacoco	8				
Predio Kanai	47				
Punta Bete	5				
Punta Xcalacoco	5				
Ocean Maya	11				
Dorado Maroma	24				

Tabla 3. Especies predominantes en los sitios de verificación de manglar.





Foto	Especie	Nombre común	% de presencia de manglar en los sitios de verificación
	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle rojo	42%
	<i>Laguncularia racemosa</i>	Mangle blanco	29%
	<i>Conocarpus erectus</i>	Botoncillo	24%
	<i>Avicennia germinans</i>	Mangle negro	5%

Tabla 4. Porcentaje de distribución de manglar en los sitios de verificación del municipio de Solidaridad.

## RESULTADOS FINALES Y CONSIDERACIONES

Una vez realizadas las salidas de campo se volvió a verificar la capa digitalizada inicialmente de manglar, creando varios polígonos más y realizando ajustes perimetrales en algunos polígonos. Se calculó la superficie nuevamente dándonos como resultado **1569** ha de manglar en el municipio de Solidaridad contenidas en 167 polígonos o manchones que se muestran en los siguientes 8 mapas que abarca el municipio, figura 7-14.

Comparando esta cifra con los datos de CONABIO, se digitalizaron 26.11 ha más, sin embargo CONABIO está marcando zonas con manglar en zonas que no presentan manglar, además de que sus polígonos son continuos (57 polígonos & 167 polígonos de ASK), esto indica que no están reflejando la fragmentación que existe en las zonas de manglar.

Ya finalizadas las salidas de verificación de campo podemos concluir que el porcentaje de superficie verificada de zonas de manglar en el municipio es del 76%, si tomamos como base la superficie total digitalizada de 1569 ha. No se tiene el 100% verificado debido a los problemas de acceso a las propiedades privadas.

Como es del conocimiento, todo proceso de medición tiene un error asociado y los sistemas de información geográfica, así como la cartografía digital no son la excepción. En este caso esta capa puede tener un desplazamiento estimado de +/- 30 m. Por lo tanto cualquier uso e interpretación que se haga debe de considerar esta situación.



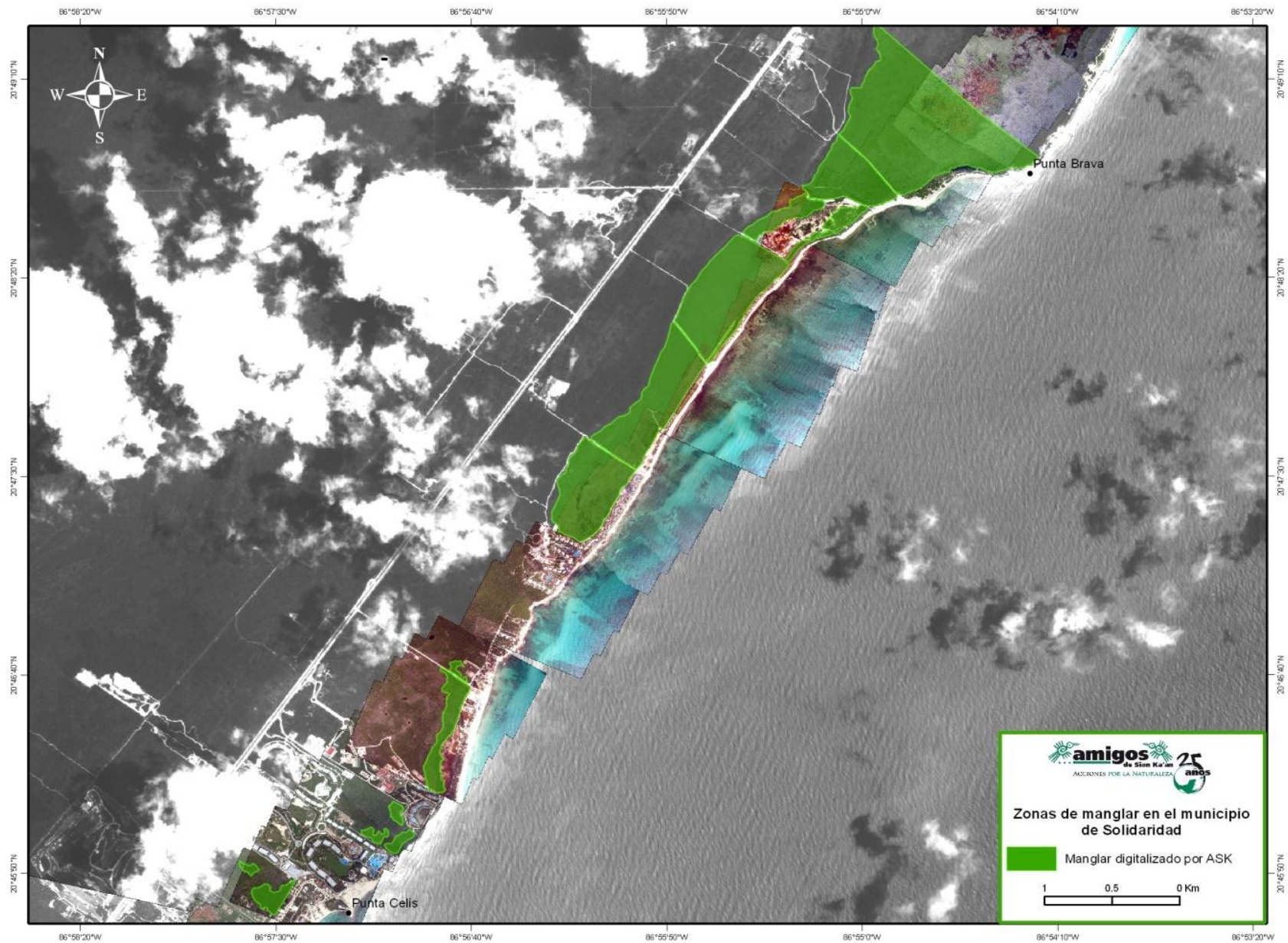


Figura 7. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Punta Brava a Punta Celis.



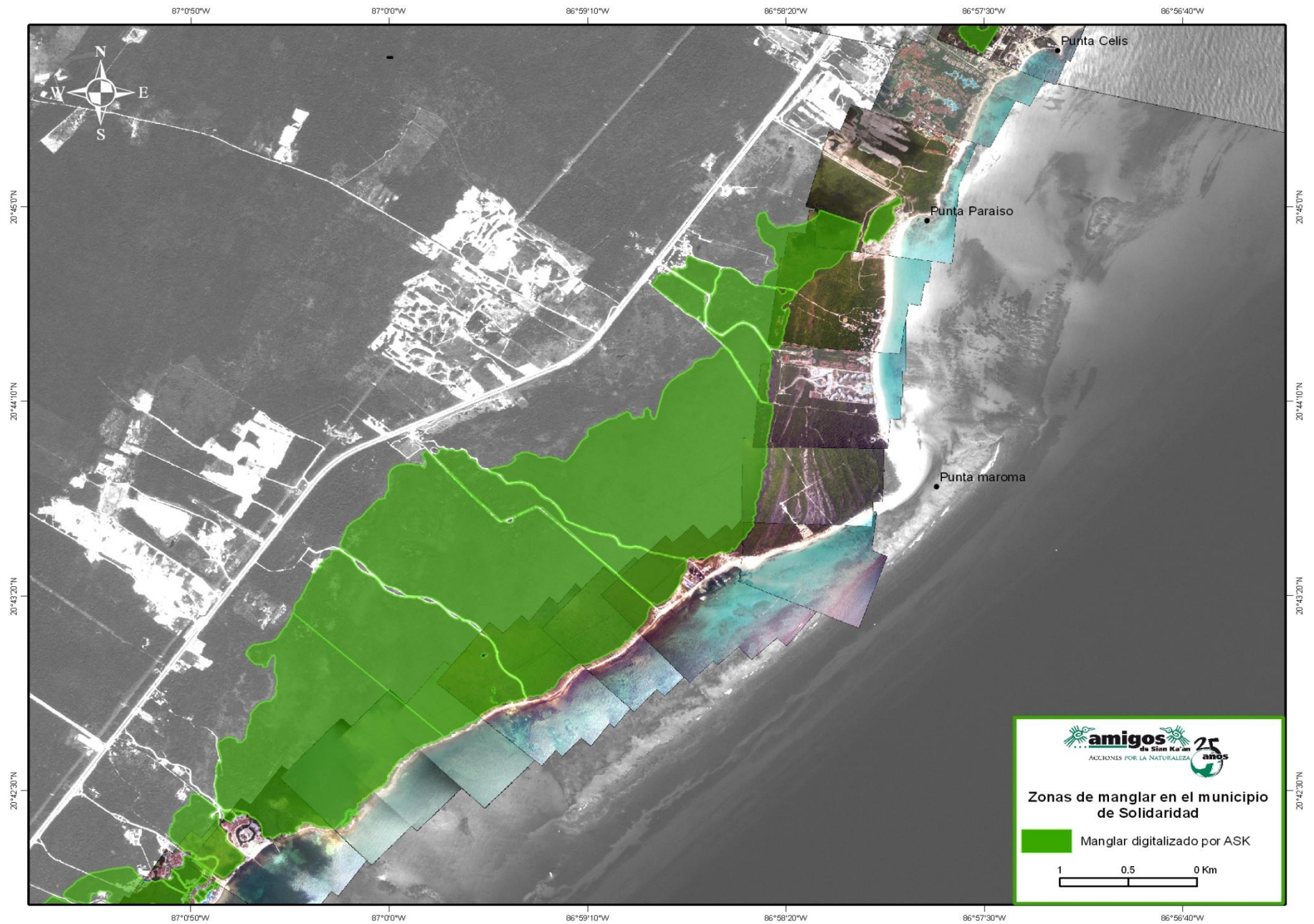


Figura 8. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Punta Paraíso a Punta Maroma.



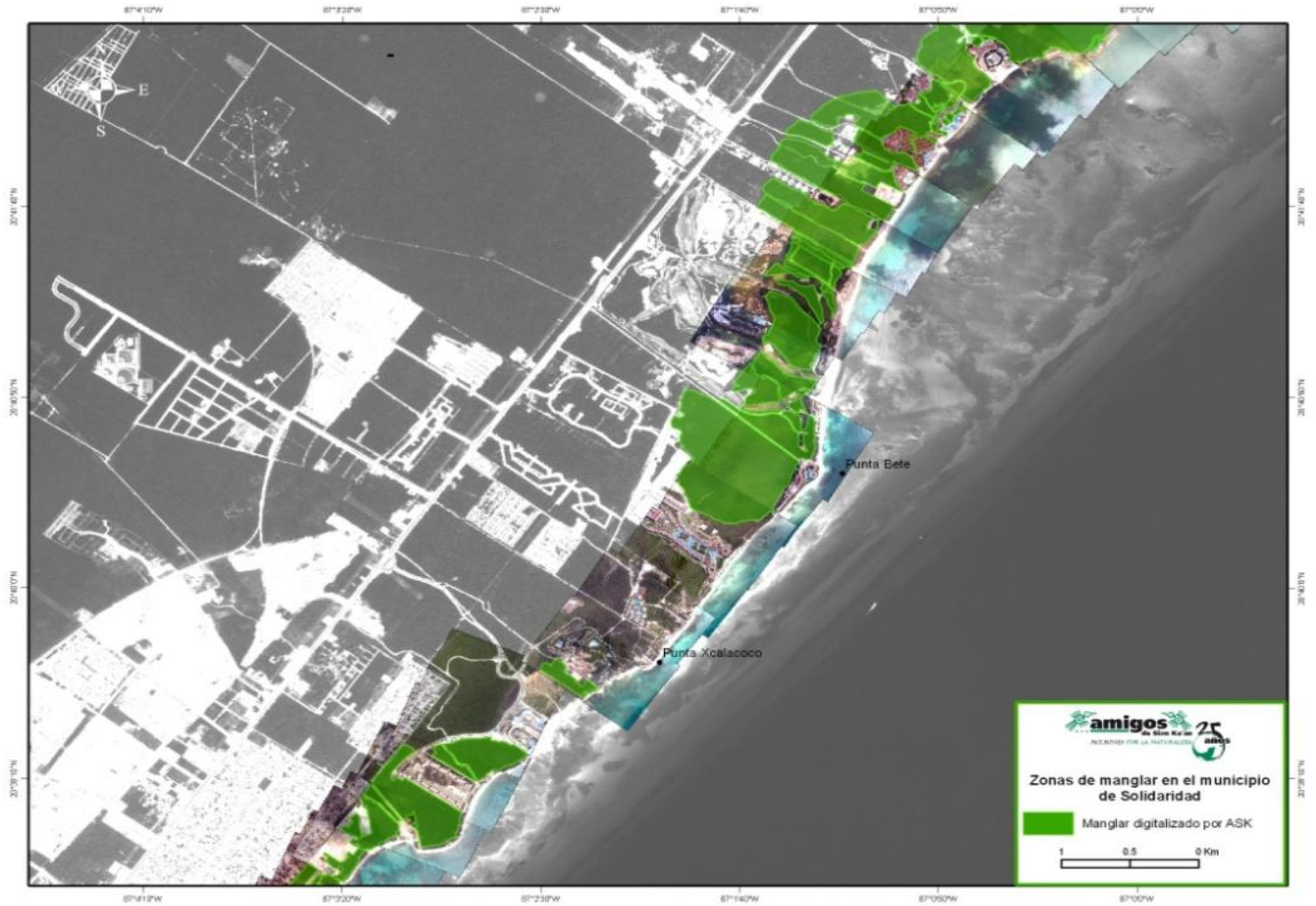


Figura 9. Zonas de Manglar digitalizadas por ASK de Punta Bete a Punta Xcalacoco.

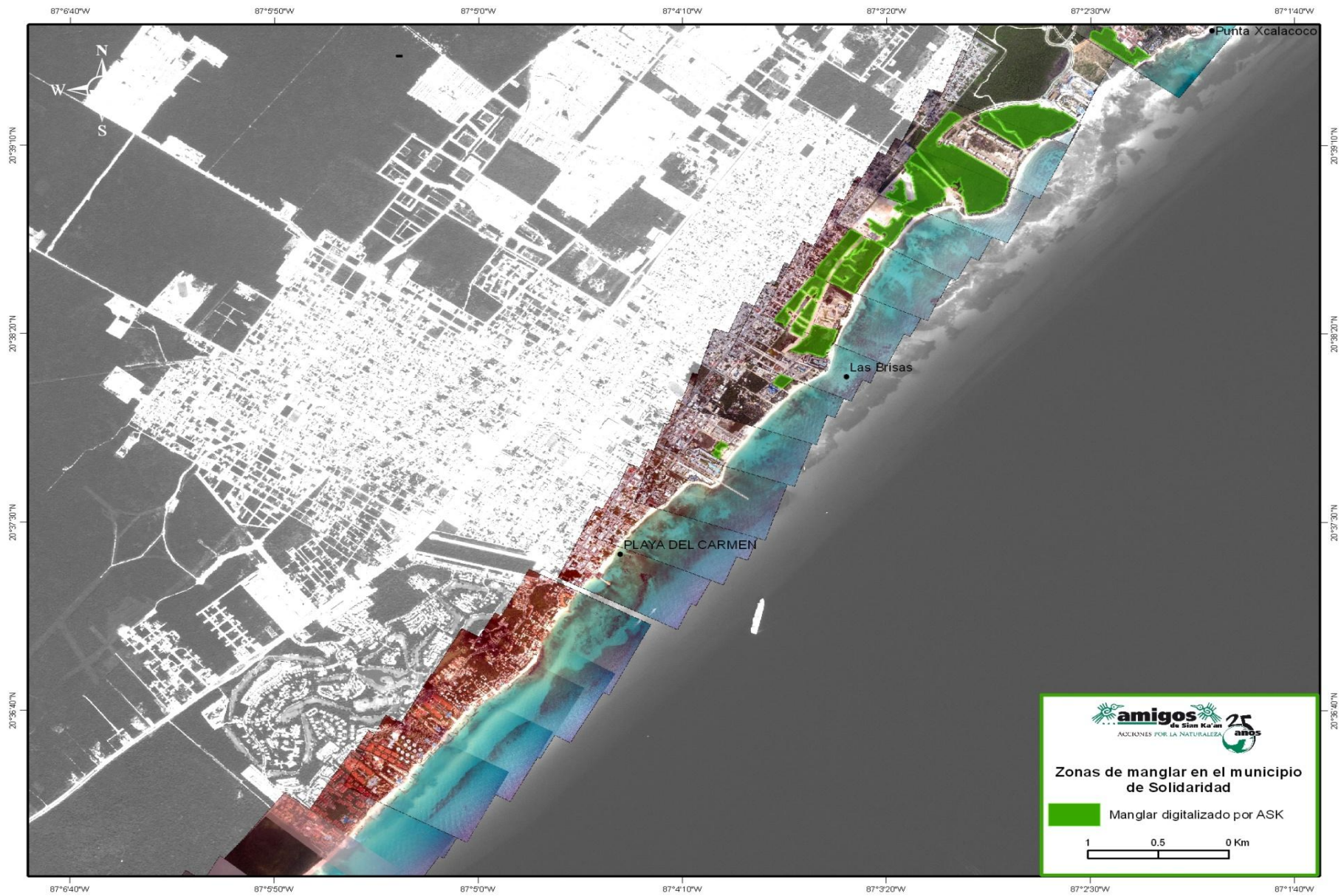


Figura 10. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de las Brisas a Playa del Carmen.



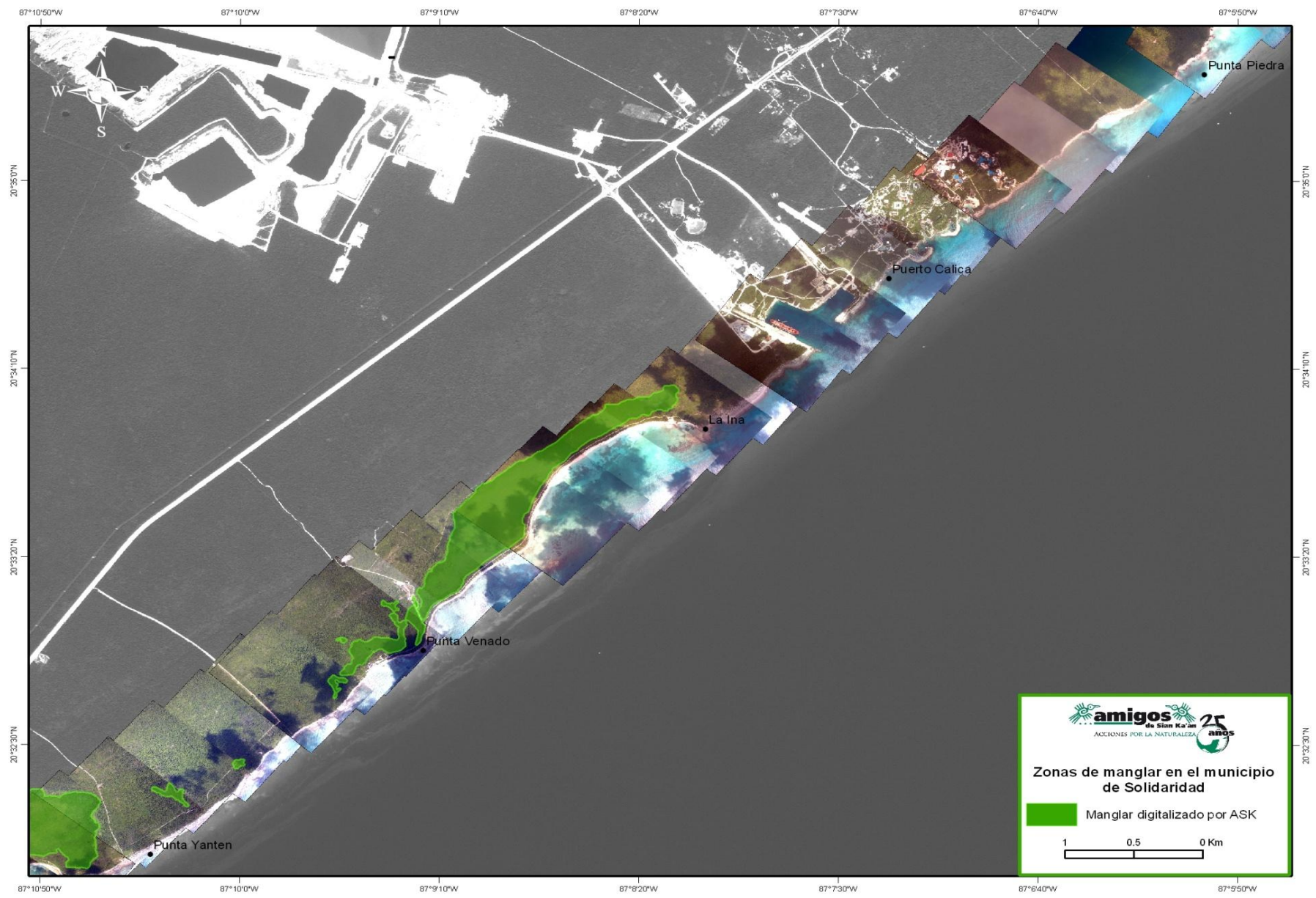


Figura 11. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Punta Piedra a Punta Yanten.

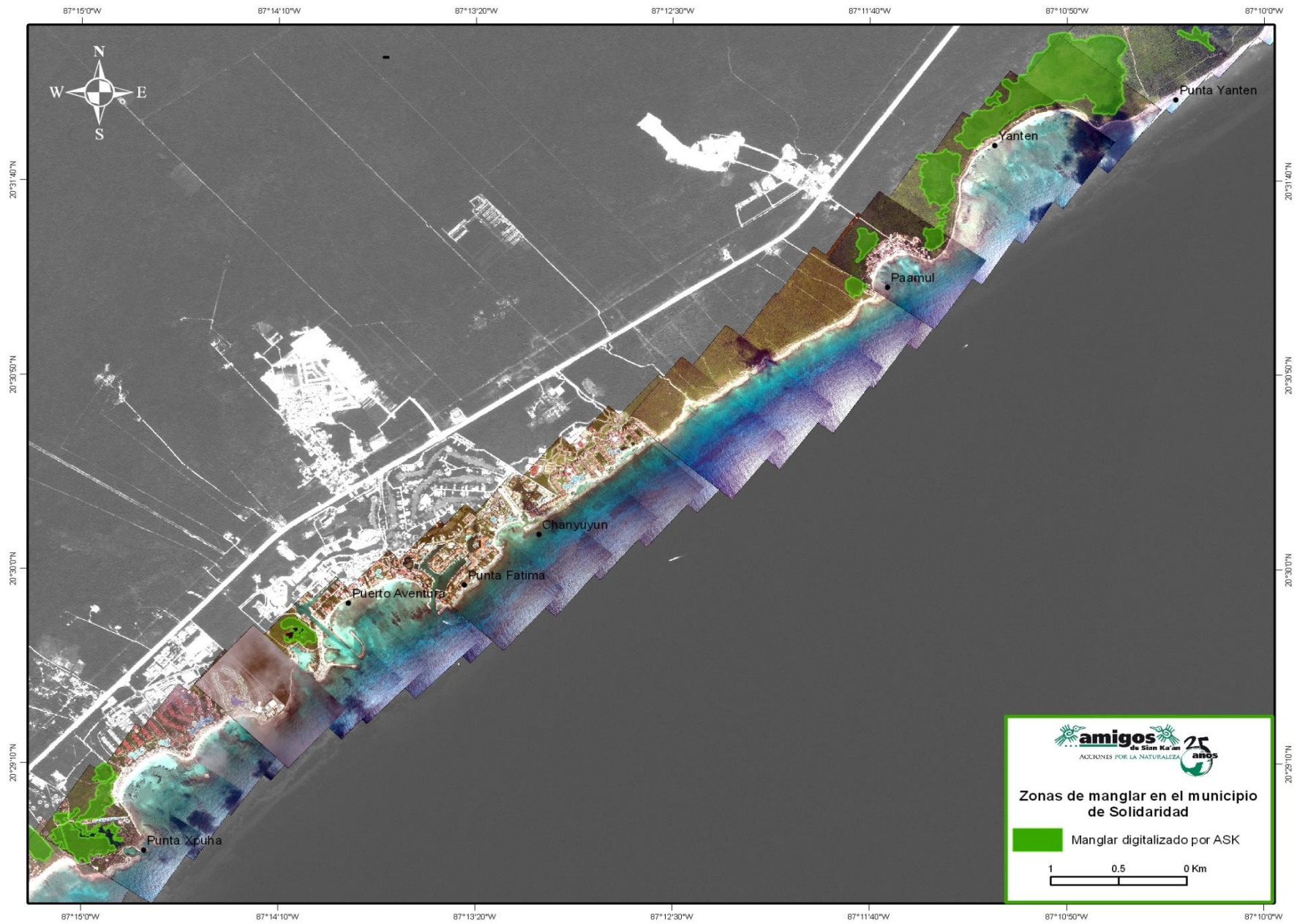


Figura 12. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Yanten a Xpuha.



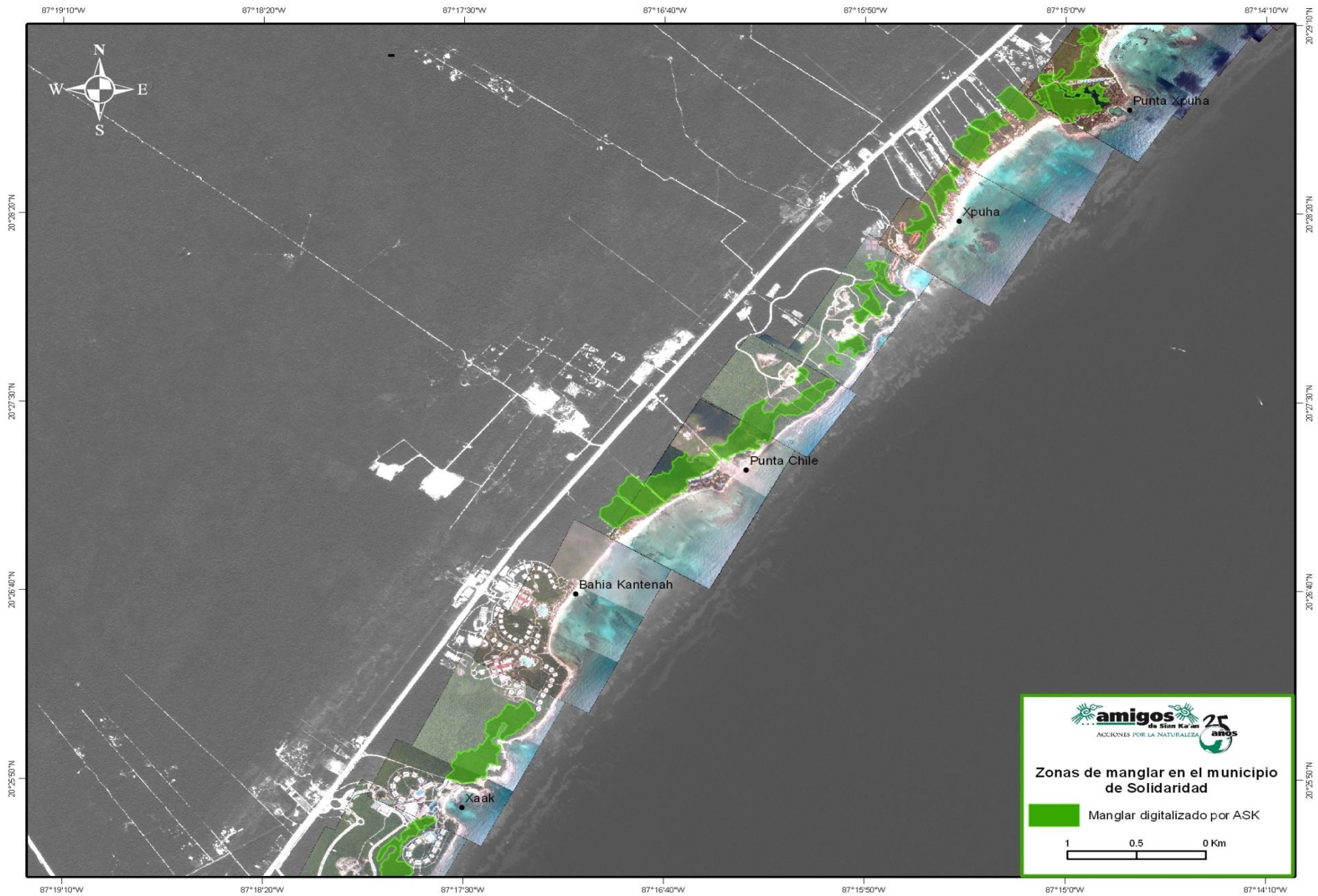


Figura 13. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Xpuha a Xaak.

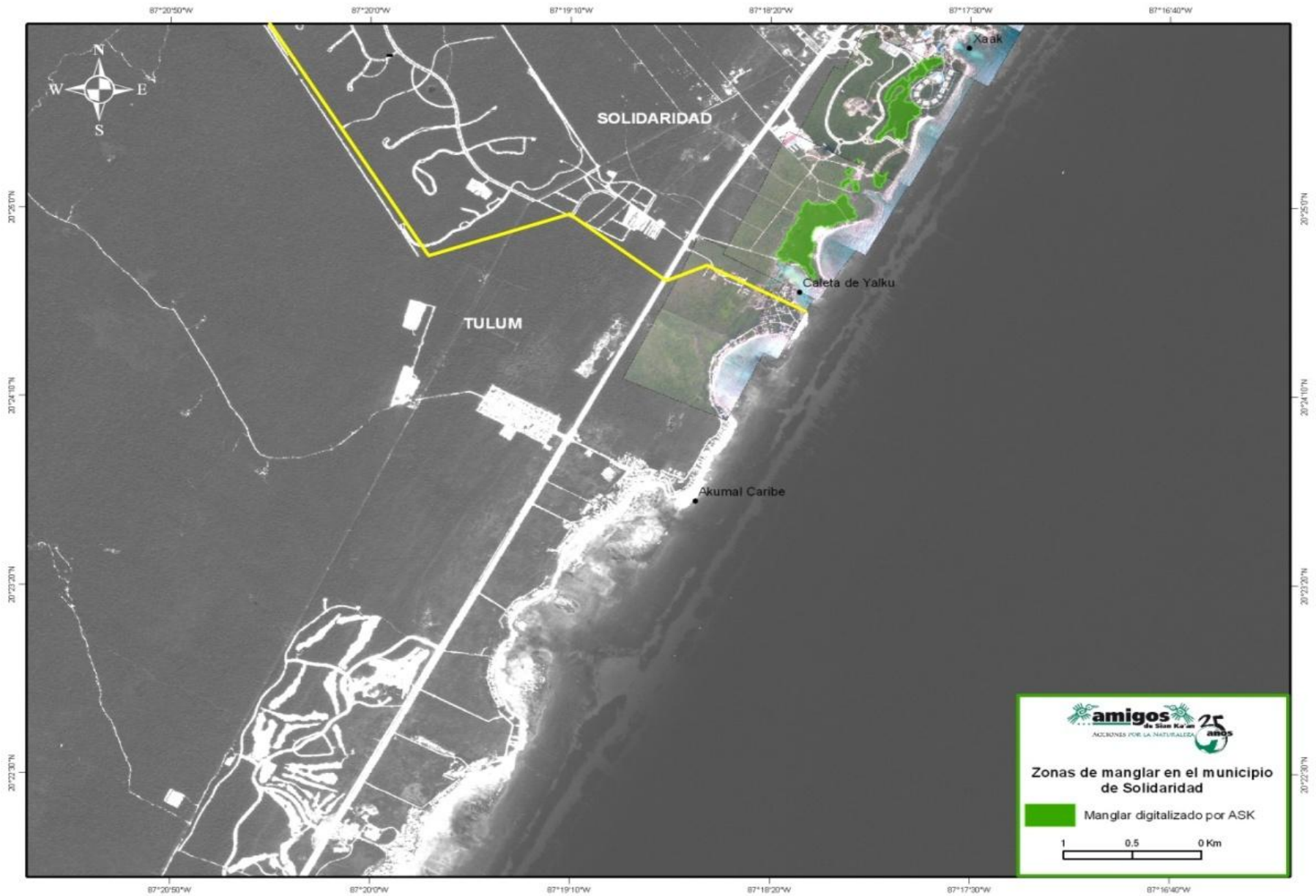


Figura 14. Zonas de manglar digitalizadas por ASK de Xaak a Caleta Yalku.

## Cambio en la cobertura del manglar en el municipio de Solidaridad

A pesar de que el objetivo general del proyecto no contempla un análisis de cambio en la cobertura de los mangles en el municipio de Solidaridad, creemos que es importante determinar este cambio de vegetación, debido al gran crecimiento poblacional que ha mostrado este municipio.

### Metodología

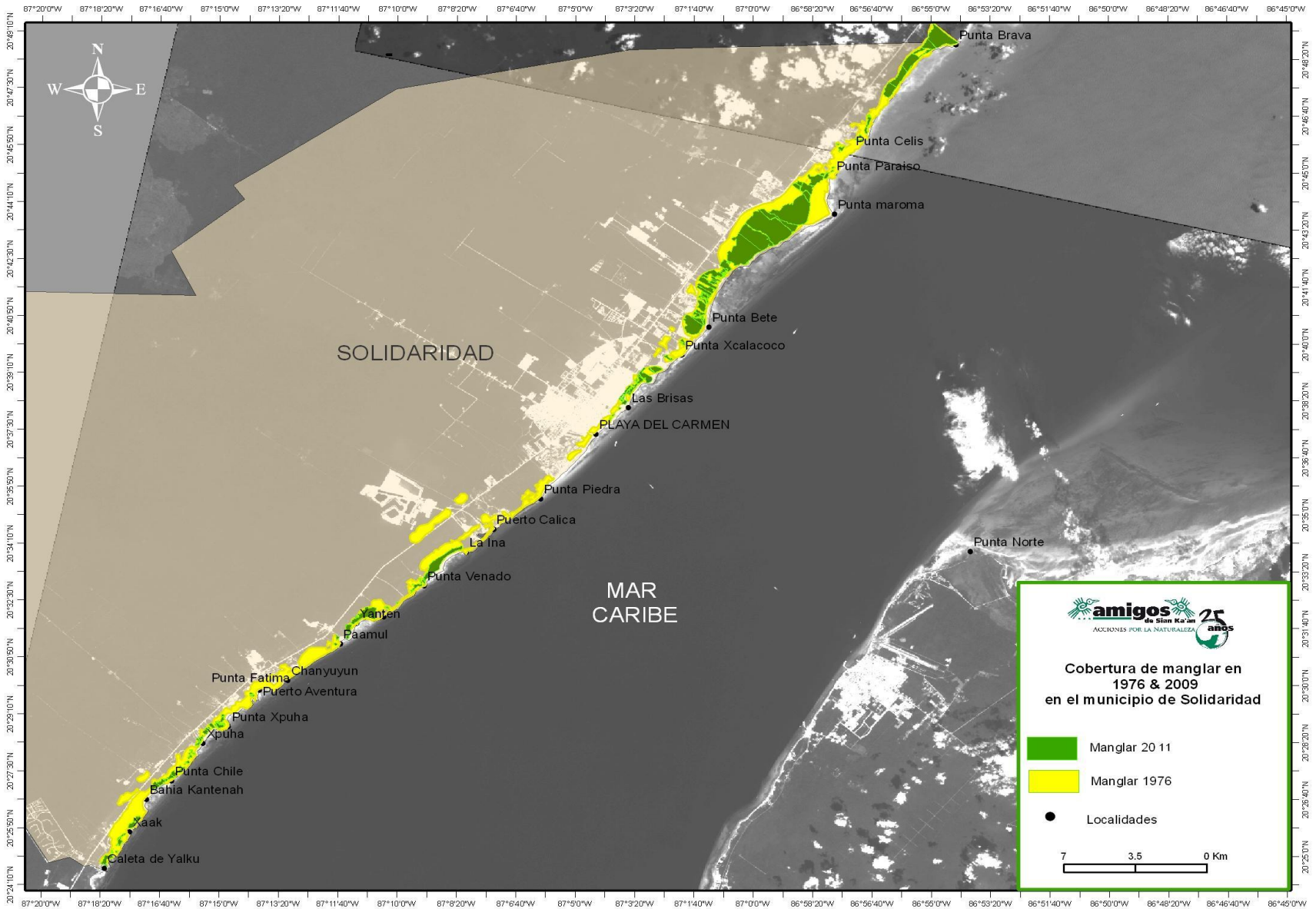
Debido a la importancia de los mangles en nuestra costa realizamos un análisis para determinar el cambio de cobertura en manglar comparando una imagen landsat de 1976, resolución 60 m, con las fotografías aéreas del 2009. Sin embargo la verificación en campo se realizó en 2011 por lo que tomaremos esta fecha para comparar el cambio de cobertura. El siguiente paso fue el procesamiento de la imágenes de satélite realizando clasificaciones supervisadas (*minimun distance*) y no supervisadas (*K-means*), en donde se utilizó 5 clases diferentes y 6 interacciones. Finalmente se hicieron los cálculos de las coberturas. Aunque las diferencias en la resolución de las imágenes sea mucha, nos puede dar una idea de cómo estaba la cobertura de manglar en los últimos 35 años. Se recomienda que el análisis se realice con imágenes de mejor resolución para tener más confiabilidad en los resultados.

### Resultados

A partir de los resultados obtenidos utilizando ENVI podemos concluir que el área de cobertura de manglares ha disminuido en un 55%, esto se debe principalmente al desarrollo de actividades turístico-urbano. En 1976 se tenía una superficie de manglar en la zona costera de 3429.28 ha y en 2011 se tiene una superficie de 1569.07 ha, figura 15. Esta disminución se ve reflejada en el brutal desarrollo del corredor turístico de Cancún hasta Punta Allen que ha motivado un crecimiento inusitado de la población. En 1995 el municipio de Solidaridad, registra una población total de 28,747 habitantes debido al surgimiento de nuevos fraccionamientos de segunda residencia que atraen a la población migrante, de tal manera que tan sólo para Playa del Carmen registra 17,621 habitantes, cifra que representa el 61.3% del total del municipio, esto es más sorprendente si se considera que en 1970 esa localidad tenía 232 habitantes que representa el 1.83% de la población total. En esta forma la actividad turística en el estado da lugar a una transformación extraordinariamente rápida debido a la urbanización iniciada en 1975 (Pérez y Carrascal, 1999)<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Pérez, V. C. y Carrascal, E.2000.El desarrollo turístico en Cancún, Quintana Roo y sus consecuencias sobre la cubierta vegetal. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. No. 43, pp. 145-146.





**Figura 15. Cobertura de manglar en los años 1976 y 2011 del municipio de Solidaridad.**

## **Fragmentación del hábitat del manglar**

Como se menciona anteriormente el municipio de Solidaridad ha sido sometido a una fuerte presión antrópica lo que provoca una fragmentación de los hábitats el cual es uno de los principales factores de pérdida de biodiversidad. Los cambios de uso de suelo provocados por la acción humana pueden favorecer este proceso constituyendo un riesgo para la conservación de las poblaciones animales y vegetales (Pérez, et al., 2007)<sup>5</sup>. Los efectos directos e indirectos de estas alteraciones, como la deforestación y la fragmentación del paisaje, producen una serie de parches de vegetación remanentes rodeados por una matriz de vegetación distinta u otra categoría de uso de suelo es por esto que es de central importancia adaptar metodologías para la identificación de áreas fragmentadas o en proceso de fragmentación y así determinar los efectos que producen los mismos.

### Metodología

Una vez concluidas las salidas de campo y obtener la capa de cobertura de manglar se analizó esta capa utilizando la extensión Patch Analyst para Arc Gis que evalúa el número de parches a nivel de clases en las cuales se obtienen las características de número, dimensión, forma hábitat interior, dispersión, densidad y fragmentación de parches.

Se calculó 4 métricas del paisaje y un índice de fragmentación para el municipio de Solidaridad. Las métricas calculadas fueron: número de fragmentos, tamaño medio de los fragmentos, distancia media y el coeficiente de variación del tamaño medio de los fragmentos.

### Resultados

#### *Análisis de la evolución del paisaje*

El análisis e interpretación general de las métricas de fragmentación que determinan la evolución del paisaje en el municipio de Solidaridad, se describen de manera resumida en la tabla 5.

---

<sup>5</sup> Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

Hábitat	Año	NumP	MPS	PSCoV	MNN
Manglar	1976	30	114.30961224	310.809094718	114
Manglar	2011	167	9.39564698	290.061721180	7

NumP=Número de fragmentos

MPS=Tamaño medio de los fragmentos

PSCoV=Coficiente de variación del tamaño medio de los fragmentos

MNN=Tamaño medio de los fragmentos

**Tabla 5. Valores de las métricas de fragmentación obtenidas para el paisaje manglar en el municipio de Solidaridad.**

*Número de parches*

En la tabla 1 y figura 16, se puede observar que existe un aumento en el número de parches de manglar confirmando que ha existido un proceso de fragmentación o división de las manchas grandes en número mayor de manchas pequeñas.

*Tamaño medio de los parches*

En el mismo cuadro se puede observar que los parches grandes fueron fragmentados o divididos debido a distintas actividades antropogénicas produciendo una disminución general del tamaño de los parches en la clase manglar para el año 2011.

*Distancia media del vecino más cercano*

Se observa que la distancia media entre fragmentos (en metros) se hace más pequeña debido a que existe una división de los mismos producida por actividades humanas, tabla 5 y figura 16.

*Coficiente de variación del tamaño medio de los fragmentos*

En el mismo cuadro se puede observar que el coeficiente de variación no es muy alto entre los dos períodos de tiempo lo que representa una uniformidad en la distribución de tamaño de los fragmentos, tabla 1 y figura 16.

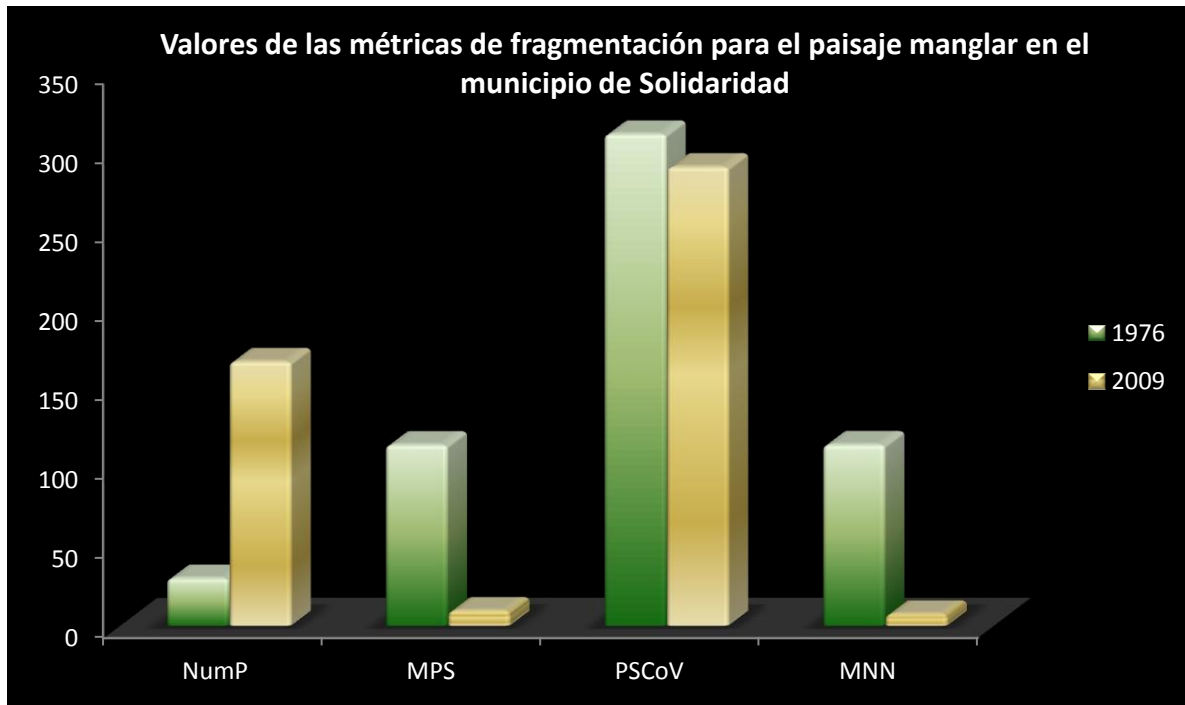


Figura 16. Valores de las métricas de fragmentación para el paisaje manglar en el municipio de Solidaridad.

## CONCLUSIONES

- ✿ Los bosques de manglar son muy notables, la construcción de canales y caminos sobre estos, interfiere en procesos vitales para su estabilidad como los patrones normales de inundación y drenaje de las mareas, el flujo de agua dulce y el suministro de sedimentos.
- ✿ Las modificaciones antropogénicas realizadas en diferentes partes del sistema, al modificar patrones de circulación del agua marina y dulce, ha provocado la desecación parcial de algunas zonas y la mortandad de manglares.
- ✿ El último manchón grande del municipio (314 ha), ubicado en el predio Kanai está por fragmentarse debido a un próximo desarrollo turístico.
- ✿ Un indicador de la fragmentación de un ecosistema se refleja en el estado, composición y configuración del mismo por lo que se observó que el municipio presenta un alto grado de fragmentación.
- ✿ Existe un proceso de fragmentación del hábitat de manglar, el aumento en el número de parche los confirma, 167 parches identificados en 2011 & 30 parches identificados en 1976.
- ✿ La superficie digitalizada de manglar en el municipio de Solidaridad en el año 2011 es de 1569 ha.
- ✿ En la zona costera del municipio se encuentran presentes 4 especies de manglar: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Conocarpus erectus* (botoncillo) y *Avicennia germinans* (mangle negro). Las especies predominantes en los sitios de verificación fueron *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*,
- ✿ El porcentaje de superficie verificada de zonas de manglar en el municipio es del 76%.
- ✿ El área de cobertura de manglares ha disminuido en un 55% en los últimos 35 años y se debe principalmente al desarrollo de actividades turístico-urbano.

- ✿ Durante el lapso de 35 años el municipio de Solidaridad ha perdido 1860 ha de bosque de manglar, transformadas principalmente a áreas antrópicas.
  
- ✿ El proceso de cambios que han afectados al municipio de Solidaridad, marca una tendencia al retroceso de la cubierta forestal en beneficio del crecimiento de áreas antrópicas.
  
- ✿ Las principales modificaciones del uso de suelo incluyen desmonte y trazo de caminos entre otros.
  
- ✿ La selección de la escala del estudio, resultará de interés en estudios posteriores del monitoreo del ecosistema del manglar, ya que dependiendo la escala, las variaciones espaciales podrán o no detectarse, sugiriendo se lleve con el mismo proceso metodológico realizado en este estudio, de tal manera que la comparación de los resultados pueda aplicarse a partir de la misma escala de lo contrario los resultados comparativos serían solo una suposición.
  
- ✿ Se sugiere llevar a cabo actividades que fomenten la conectividad y calidad de hábitats naturales de manglar a través de la repoblación, de esta manera tendrán un mayor tamaño de hábitat y por consecuente mayor capacidad de conservación.

## AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue realizado gracias al financiamiento de World Wildlife Found (WWF). Agradecemos al Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA), por su apoyo en la fase de salidas de campo. A Gabriel Santoyo, Director de Desarrollo Sustentable del Hotel Tres Ríos. A todo el equipo de Amytis, Planing, S.C. y GPPA, S.C. por su atención otorgada en la reunión y salida de campo al predio Kanai. Al hotel Ocean Maya Royale por sus atenciones especialmente a Giovanni Gil, Director General y al jefe de seguridad, Delfín Pérez y a David Ortégón, Coordinador de Desarrollo Sustentable de los Hoteles Karisma.

**Anexo 1.** Numero de fotos y mosaicos utilizados para la digitalización de zonas de manglar en el municipio de Solidaridad.

Base de datos de fotos utilizadas para el municipio de Tulum		
Vuelo	Mosaico	No. Fotos
5	10905-10907	3
5	10909-10911	3
5	10913-10915	3
1	0661-0672	11
1	0652-0660	6
1	0636-0650	11
1	0629-0635	6
1	0626-0628	2
1	mos_623-621_output	3
1	mos_620_617_output	4
1	mos_616_613_output	4
1	mos_612_610_output	3
1	mos_609_607_output	3
1	mos_606_603_output	4
1	mos_601-602_output	2
1	mos_600_597_output	4
1	591-595	3
1	mos_589_587_output	2
1	mos_586_584_output	3
1	mos_583_582_output	2
1	mos_581_580_output	2
1	mos_579_577_output	3
1	mos_576_575_output	3
1	mos_560_559_output	2
1	mos_558_557_output	2
1	mos_556_555_output	2
1	mos_554_553_output	2
1	mos_552_551_output	2
1	v1_534-527_m1_output	5
1	m8_471_463_v1	5
1	m9_462_454_output	5
1	mos_550_549_output	2
1	mos_548_547_output	2
1	mos_546_545_output	2
1	mos_544_543	2



1	mos_542_541_output	2
1	mos_540_539_output	2
1	mos_538_537_output	2
1	m2526_520_output	5
1	m3_518_510_output	5
1	m4_509_500_output	5
1	m5_499_491_output	5
1	m6_490_481_output	5
1	m7_480_472_output	5
1	m10_453_445_output	5
1	m11_444_437_output	5
1	m12_436_430	4
1	102	1
1	425-426	2
4	421-424	2
1	414-420	4
1	408-414	2
1	400-407	3
1	397-399	3
1	389-390	2
1	385-388	2
1	381-384	2
	<b>57</b>	<b>196</b>

Vuelo	Mosaico	No. Fotos
1	55	187
5	3	9
<b>TOTAL</b>	<b>57</b>	<b>196</b>