

Identificación del riesgo de inundación en zonas vulnerables del Polígono La Sabana – Llano Largo del municipio de Acapulco, Gro.

Justiniano González, Maximino Reyes, Gloria Torres
Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional
Acapulco, Guerrero, México.
justi_glz@yahoo.com.mx

Abstract— This work try to elucidate the importance of the use of geographical information systems and digital processing of satellite images, as a useful tool to carry out a methodological proposal for geospatial analysis in prevention and mitigation of risk in flood-prone areas and high vulnerability to prevent disasters. What stands for the authorities, an aid in decision-making. These tools were used in the Polígono La Sabana - Llano Largo in the municipality of Acapulco, Gro., which shows conflict in land use, by the occupation of irregular settlements. A map was made with population density, which collects the amount of population that would be affected at the danger of flooding

Key words— *Risk, Disaster, Flood, Geographic Information System*

Resumen— Este trabajo trata de dilucidar la importancia del uso de los Sistemas de Información Geográfica y el procesamiento digital de imágenes de satélite, como una herramienta útil para realizar una propuesta metodológica de análisis geoespacial en la prevención y mitigación de riesgo en zonas inundables y de alta vulnerabilidad para prevenir desastres. Representa para las autoridades una ayuda en la toma de decisiones. Estas herramientas fueron utilizadas en el polígono La Sabana - Llano Largo del municipio de Acapulco, Gro., el cual presenta conflictos en el uso de suelo, por la ocupación de asentamientos irregulares. Se realizó un mapa de densidad de población, y una ponderación recoge la cantidad de población estaría afectada ante el peligro de inundación.

Palabras claves— *Riesgo, Desastre, Inundación, Sistema de Información Geográfica.*

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se realizó en los meses de febrero - noviembre del 2013 y tiene como propósito fundamental identificar áreas vulnerables ante el riesgo de inundación y proponer alternativas de mitigación de la posible problemática ambiental. Para esto se hace uso de la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para el análisis Geoespacial y se procede al procesamiento digital de imágenes de satélite en el área de estudio la cual presenta conflictos en el uso de suelo, provocados principalmente por la ocupación de asentamientos irregulares en las áreas bajas inundables, especialmente en Llano Largo y Barra Vieja, y la especulación del suelo para generar usos turísticos. Además, comprende parte de los ejidos de El Marqués, La Sabana, El Podrido que se encuentran en litigio por tenencia de la tierra. Estos ejidos que colindan con la mancha urbana deberán evaluarse respecto a sus posibilidades productivas, pendientes de terreno, limitaciones de infraestructura y perspectiva de riesgos, para definir su posible aprovechamiento (González J, 2012). Es evidente que existen zonas de fragilidad sobre todo en las partes bajas, con referencia a las inundaciones y esto se agudiza por la falta de canalización apropiada de los escurrimientos pluviales y del Río de la Sabana, acompañado de una inadecuada disposición de los residuos sólidos. En los últimos años el crecimiento anárquico de la Ciudad de Acapulco y las carencias de infraestructura y equipamiento como consecuencia de la falta de criterios y normas básicas para ordenar procesos de urbanización, han propiciado la proliferación de asentamientos humanos que poco a poco se han ido convirtiendo en colonias importantes de la periferia del Municipio sobre todo en su parte este, como es el caso de la Unidad Habitacional del INFONAVIT El Coloso la más grande de América Latina donde la infraestructura es insuficiente y los habitantes terminan vertiendo sus aguas negras directamente al río

La Sabana y se denota una creciente contaminación de los cuerpos de agua por la falta de alcantarillado sanitario en la parte correspondiente a las cuencas pluviales, y comunidades aledañas como El Cayaco, Tuncingo, Tres Palos, Llano Largo, La Navidad y Miramar, lo preocupante es que este crecimiento se esté dando en zonas de alto riesgo geohidrológico, así como a costa del deterioro de zonas ecológicamente importantes como es el caso del Parque El Veladero (González J, 2012).

A. *Objetivo general*

Elaborar una propuesta metodológica de análisis geoespacial para la prevención y mitigación de riesgo en zonas inundables teniendo como prioritarias las zonas de altavulnerabilidad del polígono de la Sabana.

B. *Objetivos específicos:*

Elaborar datos espaciales significativos y relevantes, organizando y combinando información cualitativa y cuantitativa expresada de diversas formas (hipertexto, gráficas estadísticas, fotografías, mapas virtuales, etc.)

Identificar áreas vulnerables ante la inundación.

Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para el análisis Geoespacial de las zonas de mayor inundación

Realizar el procesamiento digital de imágenes de satélite en las zonas vulnerables del área de estudio

II. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está constituida por un polígono de 267.79 Has. Acapulco de Juárez (ciudad), ciudad y puerto marítimo del suroeste de México, situada en el estado de Guerrero, junto al océano Pacífico (Fig. 1).

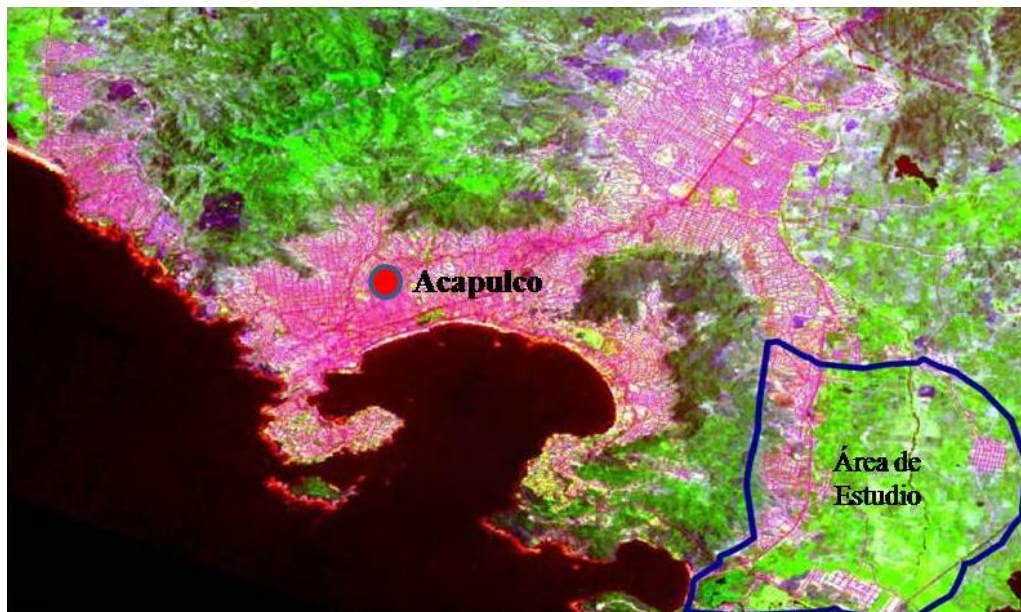


Fig. 1. Ubicación del área de estudio del Polígono de la Sabana – Llano Largo.

III. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

A. Ubicación Geográfica

Acapulco se ubica en las coordenadas del 17° 14' al norte, de 16° 41' de latitud norte en el sur; al este de 99° 29'; y al oeste 100° 00' de longitud oeste.

Al norte colinda con los municipios de Coyuca de Benítez, Chilpancingo y Juan R. Escudero; al este con Juan R. Escudero y San Marcos; al Sur con el municipio de San Marcos y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico y el Municipio de Coyuca de Benítez.

B. Superficie

Cuenta con un territorio de 1,882.6 km² que representa el 2.6% de la del estado y su litoral tiene una longitud de 62km que representa el 12.3% de la costa guerrerense.

C. Clima

En el área de estudio prevalece el tipo climático denominado cálido subhúmedo con lluvias de verano de humedad media. La temperatura media anual es de 27.6° C, la temporada menos cálida se presenta entre los meses de Diciembre y Marzo (INEGI, 2010), -tabla I-.

Tabla I. Temperatura del área que envuelve al polígono

Temperatura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Máxima extrema	36.0	36.0	39.5	37.0	40.5	39.0	37.6	37.0	36.8	37.0	37.0	35.8	0.5
Máxima prom.	31.0	31.0	31.0	31.6	32.3	32.3	32.5	32.7	31.9	32.2	31.9	31.3	31.8
Media	26.3	26.3	26.6	27.3	28.5	28.5	28.5	28.6	27.9	28.2	27.6	26.8	27.6
Mínima prom.	21.8	21.7	21.9	22.7	24.2	24.7	24.6	24.6	24.2	24.1	23.4	22.4	23.4
Mínima extrema	16.0	16.2	15.8	15.5	17.4	20.4	21.0	20.5	17.3	15.5	17.6	16.8	15.5
Oscilación	9.2	9.3	9.2	8.9	8.1	7.6	7.9	8.1	7.7	8.1	8.5	8.9	8.5

D. Hidrología

La región de estudio se encuentra inserta en la Región Hidrológica No. 19 (Costa Grande). Corresponde a la cuenca del Río La Sabana y a la parte sur de la cuenca del Río Coyuca desde la parte norte de la localidad Aguas Blancas hasta la desembocadura del río Coyuca.

La Laguna de Tres Palos es un importante cuerpo de agua situado en la Costa Grande de Guerrero, a 25 km. de Acapulco, se comunica al mar mediante un canal meándrico de aproximadamente 10 km. de longitud; este canal se origina en la porción oeste de la laguna y termina en la barra (sólo se abre temporalmente una vez al año. El uso del río La Sabana es principalmente doméstico, industrial y de riego (Fig. 2).

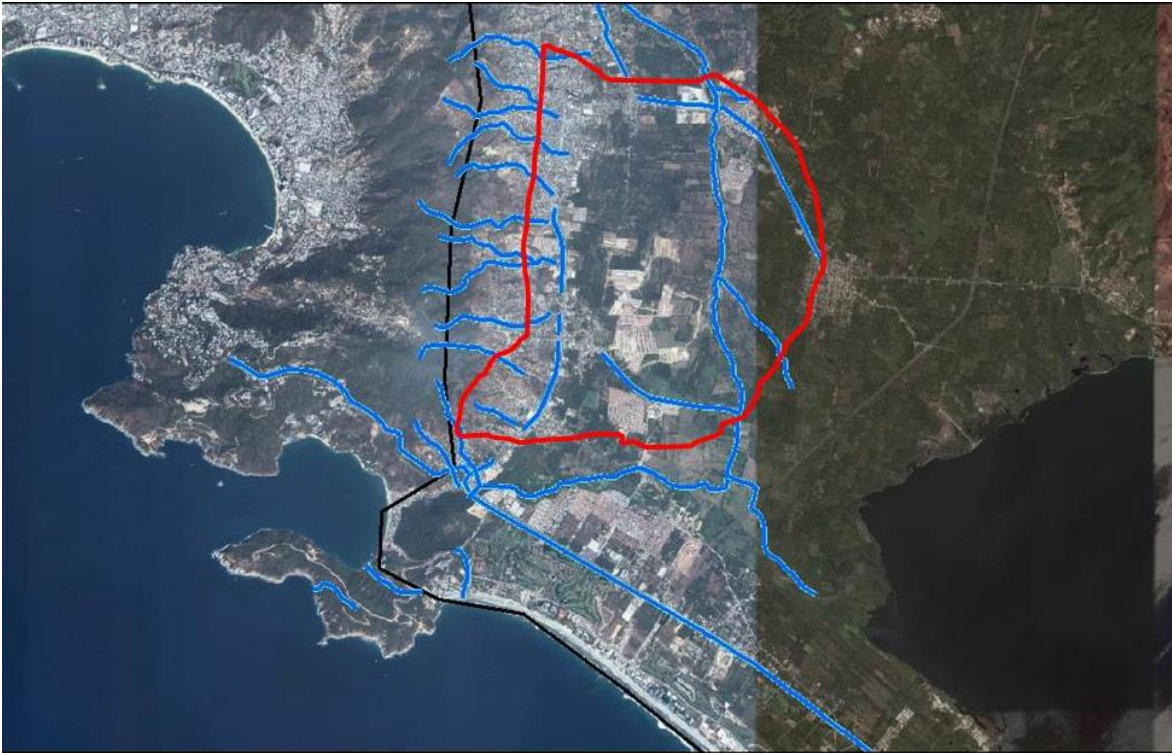


Fig. 2. Mapa hidrológico del Polígono de la Sabana – Llano Largo.

E. Población

Aspectos Demográficos

El municipio de Acapulco de Juárez comprende 237 localidades, las cuales se encuentran distribuidas mayoritariamente de 1 a 99 habitantes, (49%), en segundo lugar fue de 100 a 499 habitantes (26.6%), y de 500 a 999 habitantes con 13.5%. La mayor concentración de población fue en el segmento de 500,000 a 999,999 habitantes, que representa el 0.4% de las localidades y el 86.2% de la población que es precisamente en donde se encuentra la cabecera municipal.

La tasa de crecimiento de la población, aunque ha venido declinando desde 1970, se ha mantenido elevada, por encima de la del estado de Guerrero y también de la nacional; cerca del 80% del crecimiento es natural.

De acuerdo a los resultados preliminares del Censo de Población y Vivienda 2010 la población del municipio es de 789 971 habitantes, esto sin considerar la población flotante local y turística, habiéndose así multiplicado por 13 veces en los últimos 50 años. El crecimiento poblacional observado en el último quinquenio es del 1% (INEGI 2010) -Fig. 3-.

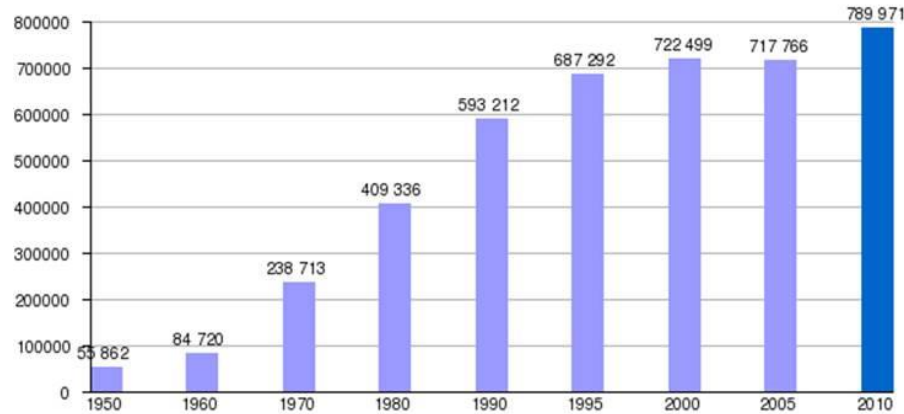


Fig. 3. Censo de Población (INEGI 2010).

IV. METODOLOGÍA APLICADA

Se consultaron diferentes bases de datos, así como las áreas espaciales homogéneas de acuerdo a su ocupación y uso actual del suelo, se analizaron la geología, litología, hipsometría, hidrografía, vegetación y uso actual del suelo para elaborar el diagnóstico, se elaboró una evaluación y se estableció el pronóstico de los resultado en las zonas de los cauces que van hacia el Río de La Sabana Laguna de Tres Palos.

Todos estos datos son la base para la elaboración en gabinete de mapas temáticos primarios, que por un procesamiento vectorial y raster, y un consecuente procedimiento de superposición de los mismos, permitieron realizar mapas secundarios y confeccionar un mapa final con clases de erosión hídrica potencial (AutoCAD, ArcGis, 9.3, Erdas9.1).

A. Métodos Utilizados

En esta investigación se utilizaron los siguientes métodos:

- Muestreo de campo.
- Cartográfico (SIG).
- Estadístico-matemático.
- Análisis Espacial

Se realizaron las siguientes actividades:

- Recopilación de información cartográfica y documental existente.
- Identificación del área de la cuenca del Río de la Sabana del municipio de acuerdo a los mapas topográficos a escala 1:50,000 y 1:100,000.
- Elaboración de la base cartográfica de la zona de estudio ArcGis9.3
- Organización y análisis de la información de gabinete (pre diagnóstico).
- Se recopilo toda la información relacionada con el área urbana actual de la zona en estudio, los cuerpos de agua, áreas de reserva, agrícola y de preservación ecológica, obteniendo las bases de datos georeferenciados. Determinación in situ con el GPS.

B. Materiales

Base cartográfica compuesta de diferentes formatos de datos (dxf, shp, tab, etc.). Las fuentes cartográficas mencionadas provienen para el nivel urbano de la cartografía censal urbana del censo económico de 2010, población de 2010 y de cartografía vectorial (topográfica, toponimias) del INEGI2010, en formato dxf genérico a escala 1: 10000, 1:50 000 y 1:100 000.

Otros materiales que se utilizarán para la ejecución del proyecto son: GPS garmin laptop, fotografías áreas de la zona de estudio de diferentes años. Fotografía satelital de la zona de estudio, mapas e información temática existentes de la zona de estudio. Materiales para impresión en papel. material de impresión en formato digital, entre otros.

Entre los software que se utilizaron están: Mapinfo 9.0, ArcGis 9.3, Envi 4.5, Autocadmap 2010, Erdas imagine.

V. UTILIZACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDES)

Fue indispensable incorporar el Modelo Digital del Terreno (MDT) ya que se utilizó para referirse a la representación digital de la superficie topográfica del área de estudio.

El MDE nos ayudó a representar la información digital de la topografía del área de estudio. Es decir observamos la parte más alta a la más baja del polígono del área de estudio teniendo como referencia los datos de las curvas de nivel, como se muestra en la siguiente tabla II:

Tabla II. Alturas de las Curvas de Nivel (mts)

ID	CURVAS
1	2 - 85.6
2	85.6 - 169.2
3	169.2 - 252.8
4	252.8 - 336.4
5	336.4 - 420

En las siguientes figuras 4, 5 nos muestra el área de estudio, ya que el nivel topográfico es muy accidentado y con grandes pendientes.

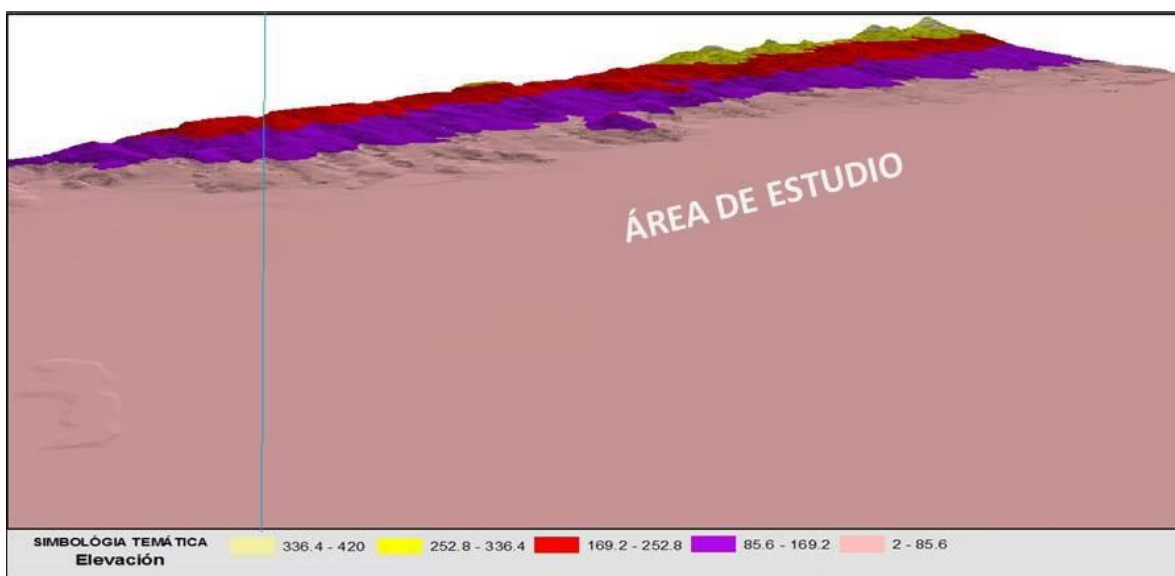


Fig. 4. MDE del Polígono de la parte baja de la cuenca Sabana – Laguna Tres Palos.

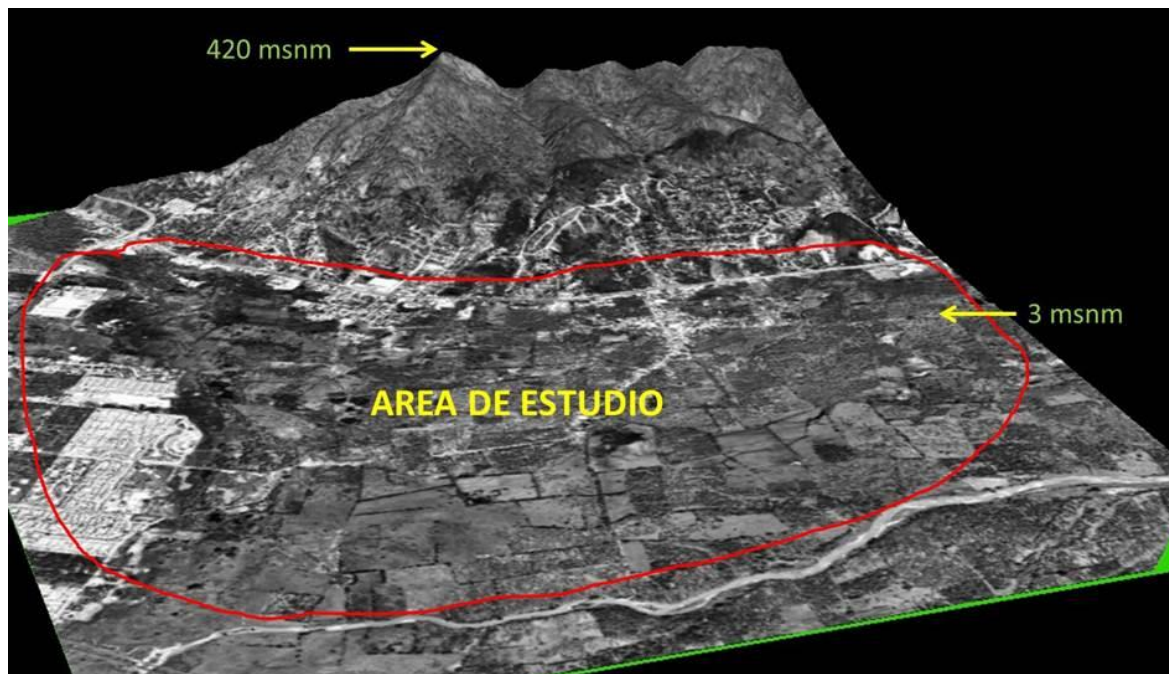


Fig. 5. Ortofoto digital 2007 en 3D del polígono de estudio.

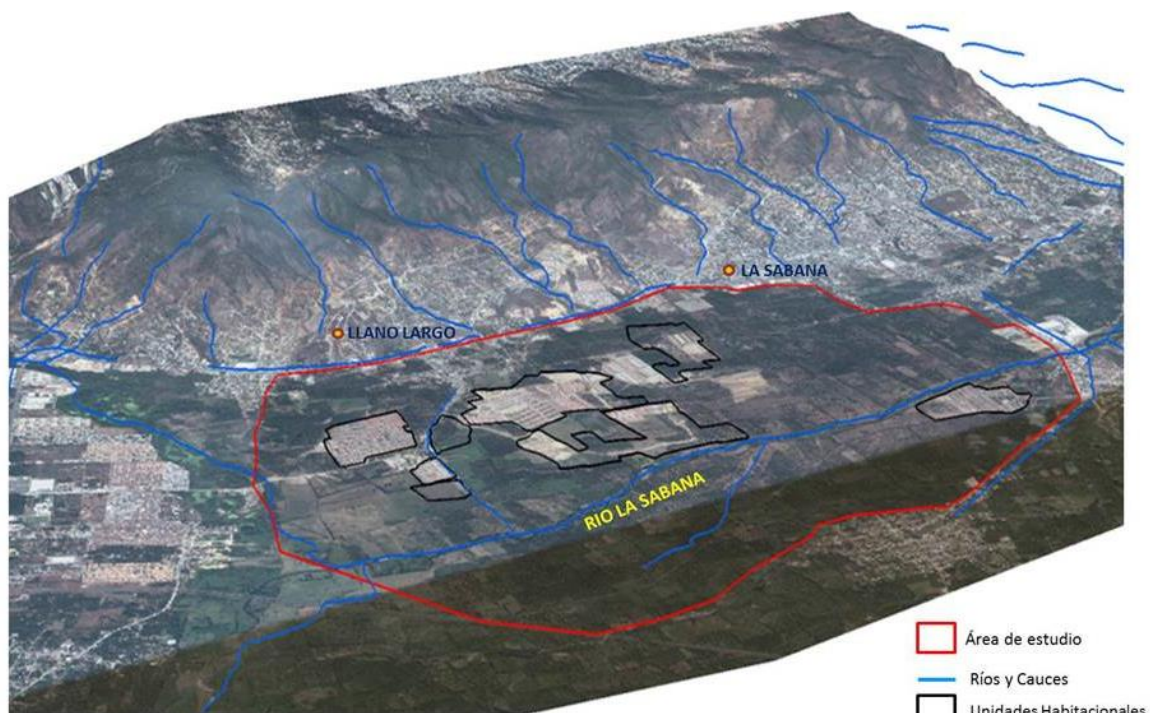


Fig. 6. Imagen del satélite LandSat 2007 en 3D del polígono de estudio.

Como observamos las 2 figuras anteriores la zona de estudio se encuentra situada en la parte baja con un máximo de altura no superior a los 10 msnm, es decir que la mayoría de los escurrimientos de la parte alta de la zona se concentra hacia la parte baja y en tiempos de lluvias es uno de los principales problemas, ya que por ahí baja gran cantidad de agua que acompañada con lodos y residuos sólidos que representan un gran problema de inundación en las mayorías de las colonias que ahí están asentadas.

Teniendo como apoyo los mapas temáticos mencionados en los materiales y métodos, se reclasificaron y analizamos la información de cada tema en particular para generar a partir de ellos los mapas bases que son de suma importancia para la elaboración definitiva de los mapas totales de riesgos.

Para el tema de Inundación se generaron los mapas bases sig:

- Para el cálculo de la amenaza se siguió la siguiente secuencia metodológica. Se recopilaron como base las capas de relieve a escala 1:10000 e hidrografía a escala 1: 50 000.
- A partir de las curvas de nivel se creó el TIN(Triangular Irregular Network), o modelo digital de terreno (MDT) en formato vectorial, posteriormente este modelo se convirtió a formato raster y se reclasificaron y ponderaron los rangos de alturas como se muestra en la tabla III:

Tabla III. Ponderaciones de las alturas del terreno en Acapulco.

Rangos	Intensidad de Inundación	Ponderación
0-10	Intensamente inundable	10
10-20	Muy inundable	8
20-40	Inundable	6
40-80	Medianamente Inundable	4
80-150	Poco Inundable	2
150-800	No inundable	0

Como resultados de la reclasificación de las alturas obtuvimos el mapa que se muestra en la fig. 7.

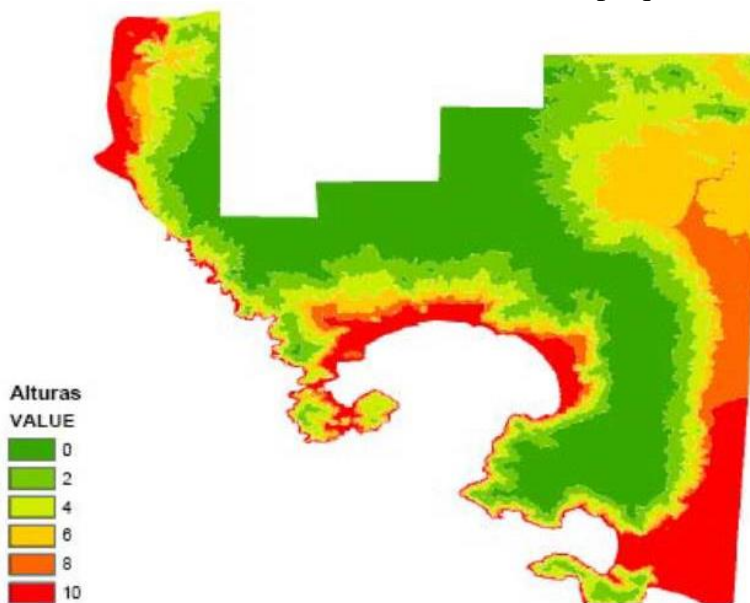


Fig. 7. Mapa reclasificado de alturas del Polígono de la Sabana – Llano Largo.

El menor rango de 0-10 m de altura es la zona en que por las características de la orografía existe una mayor probabilidad de inundación, pues son las zonas más bajas y a este rango se le asignó un valor de ponderación igual a 10, así sucesivamente para el resto de los rangos por orden de importancia en cuanto a probabilidad de inundación. Debemos decir que consideramos que las zonas con rangos de alturas mayores de 150 m, no son inundables debido que implican terrenos fuertemente accidentados donde el agua se evacua con facilidad.

VI. CÁLCULO DE LAS PENDIENTES

La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente. La pendiente se mide calculando la tangente de la superficie. La tangente se calcula dividiendo el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal. Si visualizáramos la superficie en sección transversal, podríamos ver un triángulo rectángulo.

Normalmente la pendiente se expresa en planimetría como un porcentaje de pendiente que equivale al valor de la tangente (pendiente) multiplicado por 100.

$$\text{Porcentaje de Pendiente} = \text{Altura} / \text{Base} * 100$$

Luego a partir del mapa de alturas y por las herramientas del SIG se obtuvo el mapa de pendientes, el cual nos ayuda a determinar el potencial de escurrimiento de las diferentes zonas según se muestra en la siguiente tabla IV:

Tabla IV. Reclasificación de las pendientes

Rangos	Intensidad de inundación	Ponderación
0-2	Intensamente inundable	10
2-4	Muy inundable	8
4-5	Poco inundable	6
5-7	Inundable	4
7-90	No inundable	0

Para este mapa se establecieron 5 rangos de pendientes los cuales fueron ponderados como se muestra en la tabla de acuerdo a la probabilidad de ser anegados ante fuertes lluvias y siguiendo el criterio donde se considera que pendientes con una inclinación de más de 5-7 grados evacuan el agua con facilidad, por lo que las zonas con una pendiente superior a 7 grados la consideramos como no inundables, como se muestra en la Fig. 8.

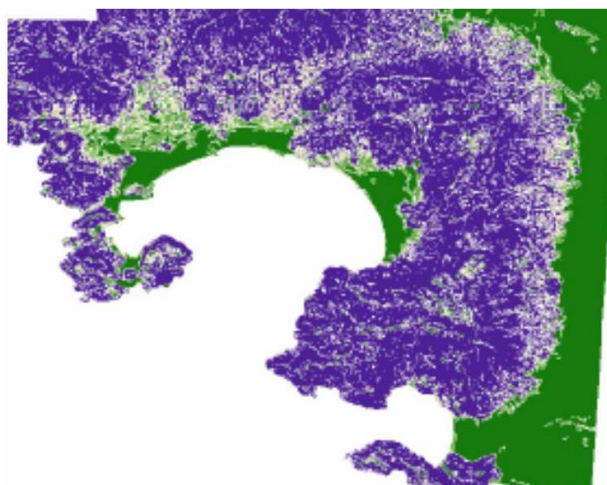


Fig. 8. Mapa reclasificado de pednientes del Polígono de la Sabana – Llano Largo.

VII. UTILIZACIÓN DE BUFFER

Finalmente para el cálculo de la amenaza se trabajó con la capa de ríos; con esta se determinaron áreas de posible inundación a partir del cauce del río mediante la realización de buffer concéntricos y su posterior ponderación, tal y como lo muestra la tabla V:

Tabla V. Reclasificación de los Buffer

Rango	Intensidad de Inundación	Ponderación
0-50	Muy inundable	10
50-100	Poco inundable	6
100-150	No inundable	2

Se establecieron tres rangos de áreas de influencia a partir del cauce del río, con intervalos de 50 mts, cada una que muestra la posibilidad de que a partir del cauce esas zonas sufran peligro de inundación ante fuertes lluvias, Fig. 9.



Fig. 9. Mapa de recolonización hidrológica de la parte baja de la cuenca del Polígono de la Sabana – Laguna de Tres Palos.

VIII. RECLASIFICACIÓN DEL USO DEL SUELO

Para el cálculo de vulnerabilidad nos apoyamos en la información existente a nivel de AGEBS (Área Geo-estadística Básica) en la cartografía básica de INEGI y en el SCINCE 2010 (Sistema para la Consulta de Información Censal).

Lo primero que se realizó fue identificar los diferentes tipos de usos de suelo existente en la zona estudiada, con dicha información se generó un mapa temático que se convirtió a formato raster y se ponderó de acuerdo al grado de afectación de los diferentes usos ante peligro de inundación siguiendo el criterio de PEMEX (2001), tal y como muestra la siguiente tabla VI.

Tabla VI. Reclasificación de uso del suelo.

Tipo de uso	Ponderación
Equipamiento urbano turístico	10
Turístico	10
Habitacional comercial	8
Habitacional	6
Turístico con norma ecológica	4
Equipamiento urbano	4
Parque	2
Agrícola	2

De forma que los sitios turísticos y comerciales serían los tipos de uso más vulnerables ante posibles inundaciones, por los daños económicos que se le provocaría a estas zonas, le sigue el daño humano y por eso se ubica con una ponderación menor las zonas habitacionales.

De acuerdo con lo anterior se obtuvo el mapa de uso de suelo reclasificado como se muestra en la Fig. 10.

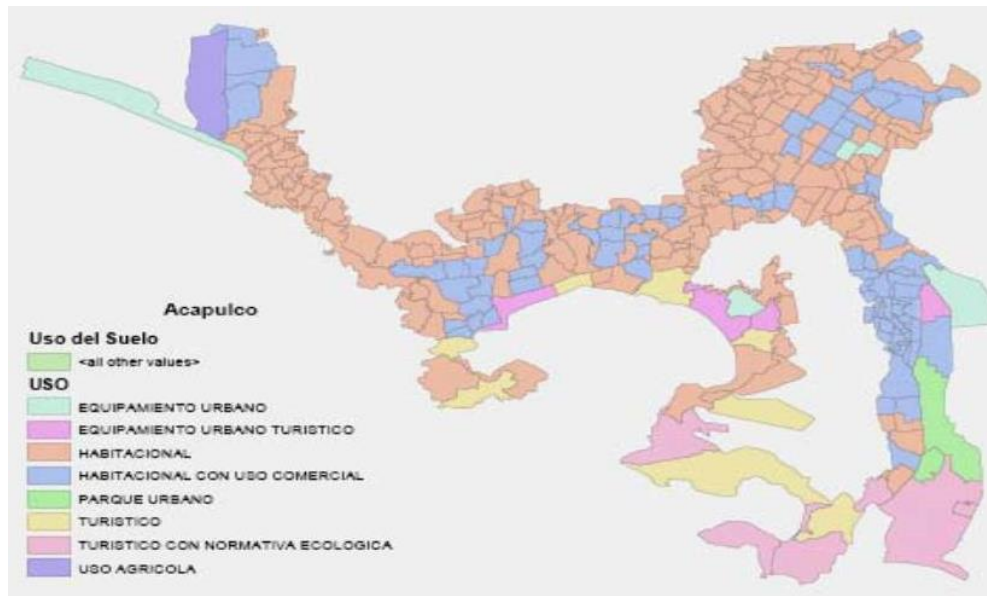


Fig. 10. Mapa de reclasificación de uso del suelo del Polígono de la Sabana – Llano Largo.

IX. CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LA POBLACIÓN

Otro de los indicadores de vulnerabilidad que usamos aparte del uso de suelo fue la densidad de población por AGEBS (Área Geo-estadística Básica), para ello se utilizó la información disponible en el SCINCE 2010 (Sistema para la Consulta de Información Censal) y se calculó por herramientas del SIG el área de cada AGEB. Finalmente la densidad de población se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad de Población} = \text{Población por AGEB} / \text{Área del AGEB.}$$

Con el mapa de densidad de población, se creó una ponderación que recoge la cantidad de población que estaría afectada ante el peligro de inundaciones acorde a como se muestra en la siguiente tabla 7:

Tabla VII. Reclasificación de densidad de población

Rango de Densidad de Población	Ponderación
0-50	2
50-100	4
100-150	6
150-200	8
200-487	10

De acuerdo con lo anterior reclasificación se obtuvo el mapa de densidad de población como se muestra en la fig. 11.

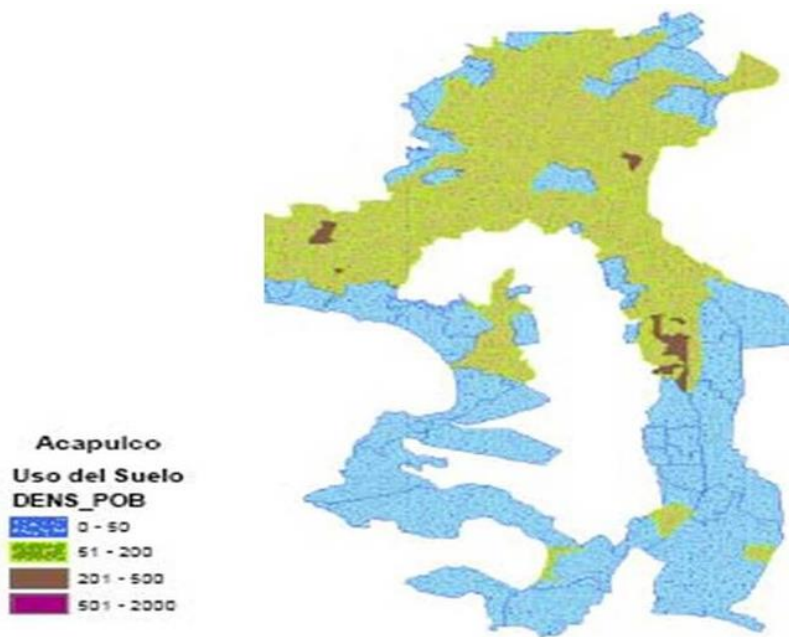


Fig. 11. Mapa de reclasificado de la densidad del Polígono de la Sabana – Llano Largo.

X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo todos los datos necesarios en los mapas base se procedió con el último paso que fue el cálculo total del riesgo, es decir se sumaron todos los mapas de Amenazas, Vulnerabilidad y los datos de campo para tener el mapa final de riesgo en inundación en parte baja de la cuenca, Fig. 12.



Fig. 12. Mapa de riesgo por inundación del Polígono de la Sabana – Llano Largo.

En el mapa nótese las zona de alto riesgo (roja) la mayoría de las zonas encontradas se encuentran entre los escurrimientos, arroyos, ríos y barrancas que son unos de los principales indicadores de peligro y requieren de la atención de las autoridades locales, estas zonas esta ubicadas en la parte alta y en toda la zona plana de la zona de estudio ya que la topografía de la zona presenta pendientes pronunciadas esta nos da como consecuencia fuertes problemas de inundaciones en las partes bajas, también en ambos lados del Boulevard de las Naciones y del cuerpo lagunar de Tres Palos y Río de la Sabana.

Es muy importante señalar que estas áreas son la que actualmente se ha estado incrementado considerablemente su población así como de servicios básicos, que por desgracia se han asentado en lugares vulnerables; en lo cual las áreas de afectación por inundación comprende los siguientes AGEBS (Área Geo-estadística Básica), tabla VIII.

Tabla VIII. Población por AGEBS de las zonas afectadas por inundación

<i>AGEBS</i>	<i>Población</i>	<i>AGEBS</i>	<i>Población</i>
6387	1186	6599	98
5980	20	6584	90
632A	706	6565	40
6461	987	6550	102
6669	598	6419	157
5815	1046	6334	90
6349	232	6404	196
6353	155	6052	454
6368	109	6391	1370
6372	111	575A	1972
6599	98	TOTAL	9719

XI. CONCLUSIONES

Es evidente que toda el área de influencia en la parte baja del Polígono Sabana – Llano Largo la cual presenta procesos de urbanización acelerados, que en mayor o menor medida han alterado las condiciones naturales originales, ello se ve acompañado de la proliferación de asentamientos en zonas de riesgo y que han propiciado necesidades de infraestructura en drenajes y demás servicios públicos municipales que no han sido satisfechos en su totalidad. Los requerimientos de pavimentación son la causa principal del aumento en las tasas de escurrimiento y de la disminución en volúmenes de infiltración y recarga del acuífero, algo característico en la parte baja de esta cuenca y que en base a los resultados obtenidos se confirma en esta investigación.

Con el trabajo de campo y el análisis de los datos se encontró que casi toda la zona de estudio se han propiciado construcciones habitacionales costosas en la mayoría de los casos y sobre todo con ausencia notoria de dotación de servicios; esto ha ocasionado que en la más de las veces sean utilizados materiales precarios y sin considerar los riesgos abundantes a los que se encuentran sometidos los habitantes de esta zona. Es evidente que al no contar con los servicios básicos sus descargas residuales no estén conectadas a la red de drenaje municipal y ello ocasiona que las mismas sean vertidas a los cauces y terrenos ociosos.

Hemos encontrado que existe una palpable deficiencia de drenaje pluvial por falta de capacidad y mantenimiento de los alcantarillados y canales existentes, así como la obstrucción de los mismos provocado por el vertimiento de residuos sólidos que limita la capacidad de evacuación de las aguas en las zonas bajas dando lugar a inundaciones en la época de intensas lluvia y/o fenómenos meteorológicos.

Esta propuesta se constituye como un método para la elaboración de planes y programas de mejoramiento en el ámbito urbano y suburbano del municipio, basado en los Sistemas de Información Geográfica para el manejo de una mejor toma de decisión por parte del gobierno federal, estatal y municipal; propiciando el diseño de nuevas políticas que permitan aplicar nuevas disposiciones normativas de conservación, mejoramiento, crecimiento y preservación, basadas en los resultados obtenidos y acorde a sus posibilidades, además de contar con este Inventario de la infraestructura y servicios públicos con los que se cuenta en la zona de estudio y ya expuestos en los mapas temáticos obtenidos y en la base de datos de los recorridos de campo realizados con su ubicación exacta.

REFERENCIAS

- [1] J. González, G. Torres y Reyes, 2012. “Jerarquización de la problemática ambiental en Acapulco, Gro., México,” Editorial Académica Española, Alemania.
- [2] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI 2010. *Carta topográfica E14C57, Acapulco, escala 1:50,000.*
- [3] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, 2010. *Sistema para la consulta de la información censal, Scince2010.*
- [4] PEMEX, 2001: *Sistema Municipal de Protección Civil para la población de Acapulco.*