

Uso de herramienta SIATL, DENUe e insumos de INEGI en la simulación de inundaciones en la cuenca baja del Rio Misantla, Veracruz, México.

RESUMEN: El presente proyecto se lleva a cabo en base a los siniestros ocurridos en la ciudad de Misantla Veracruz, los cuales afectaron en gran medida la infraestructura y la integridad de los pobladores. Haciendo uso de las nuevas tecnologías que se han desarrollado, se trabaja en un modelo hidrológico de impacto producido por avenidas máximas, ocasionadas por precipitaciones y escurrimientos en la cuenca a la cual pertenece el rio Misantla, dicho modelo se diseñara por medio de un conjunto de softwares tales como Arc Map, SIATL entre otros.

Este tipo de programas, al ser retroalimentados con datos hidro-meteorológicos de la zona, auxilian en la interpretación y comprensión de distintos fenómenos naturales, tales como las avenidas máximas (inundaciones).

Con este modelo se pretende adoptar nuevas y mejores medidas de prevención para hacer frente a futuras inundaciones tanto para el sector civil como el agrícola y pecuario y así reducir el impacto directo que estas producen.

PALABRAS CLAVE: Inundación, Fenómenos hidrometeorológicos, Prevención, SIG.



Colaboración

Humberto Raymundo Gonzalez Moreno; Jorge Cruz Salazar; Isane Ruano Mora; Raúl Camilo Vélez Mujica; Modesto Sánchez Díaz, Tecnológico Nacional de México / Campus Misantla

Fecha de recepción: 20 de noviembre de 2020

Fecha de aceptación: 11 de marzo del 2021

ABSTRACT: This project is carried out based on the sinister that occurred in the city of Misantla Veracruz, which greatly affect the infrastructure and integrity of the residents. Making use of the new technologies that have been developed, a hydrological model of impact produced by maximum floods, caused by rainfall and runoff in the basin to which the Misantla River belongs, is worked on, said model will be designed by means of a set of softwares such as Arc Map, SIATL among others.

This type of program, being fed back with hydro-meteorological data from the area, helps in the interpretation and understanding of different natural phenomena, such as maximum floods (floods).

This model intended to adopt new and better prevention measure to face future float for both social and agricultural and it also the livestock sectores, that way it can be reduce their impact.

KEYWORDS:

Flood, Hydrometeorological Phenomena, Prevention, GIS.

INTRODUCCIÓN

El agua presente en el planeta tierra juega un papel ambiguo y contrariante; es un elemento de importancia vital [1] ya que, sin la presencia de esta, la vida en este planeta no sería posible [2] pero de manera contraria, también ha protagonizado acontecimientos catastróficos con saldos rojos, inclusive en apartados históricos se hace alusión al inmenso poder que la madre naturaleza puede demostrar utilizando este elemento esencial [3]. Hoy en día es muy común escuchar en los medios de comunicación, o leer en medios impresos, sucesos desastrosos ocasionados por la presencia excesiva de agua; entre esos fenómenos se pueden enlistar; inundaciones, maremotos, deslaves, etcétera [4] Es por ello que uno de los objetivos principales del desarrollo tecnológico es poder prevenir dichos fenómenos meteorológicos [5]. Más de un autor cita entre líneas que un proyecto nace con la finalidad de dar solución a un problema. Basándose en lo anterior descrito nace este proyecto que pretende analizar, interpretar y prevenir algunos de los fenómenos meteorológicos que afectan a la población de la ciudad de Misantla Veracruz, entre los más memorables se encuentran los sucedidos en el año de 1995 y el 13 de septiembre de 2013 [6]

Una de las principales herramientas utilizadas en este proyecto para el tratamiento del problema ya descrito, será el uso de SIG (sistema de información geográfica), que se puede definir como la digitalización de elementos físicos del medio, ya sea por medio de una imagen Ráster o Vectores [7]. Estos sistemas han sido muy aplicables, en las últimas décadas, en el manejo de datos hidro-meteorológicos de gran magnitud ya que permite analizar e interpretar a detalle todas las variables que conllevan dichos fenómenos, de ahí su gran utilidad.

Tabla 1. Pérdida económica y cota máxima de inundación de los fenómenos meteorológicos más importantes en Misantla

Año	Eventos	Cota de inundación	Pérdidas económicas en US\$
1995	Huracán Roxanne	312 m.s.n.m.	1,711,254.71
2013	Huracán Ingrid	306 m.s.n.m.	127,246,699.54

La principal finalidad del uso de los sistemas de información geográfica [8] es obtener las herramientas necesarias para llevar a cabo una simulación de inundación de la cuenca del río Misantla, teniendo como principal zona de estudio, el área aledaña al puente Rafael Murillo Vidal. Dicha actividad arrojará fuertes resultados aplicables a la vida cotidiana de la población de esta ciudad. Dicho trabajo digital arrojará un posible polígono de afectación de la zona estudiada, donde por medio del análisis detallado se pueda inferir el daño que una avenida máxi-

ma pueda provocar de manera directa o indirecta a los sectores privado y público que se encuentren en la zona de estudio. De igual manera se pretende prevenir afectaciones a las diversas estructuras que representan mayor importancia para la población, tales como los puentes y caminos que comprenden la infraestructura vial de la ciudad, esto para evitar se repita lo sucedido el día 13 de septiembre de 2012 cuando el aproche del puente Rafael Murillo Vidal cedió ante la fuerte presión que el cauce del río ejercía sobre él. Esto ocasiono serias afectaciones ya que esta es una de las principales fuentes de comunicación de la ciudad con la capital del estado, siendo esta prioritaria debido a los servicios que en dicha ciudad se encuentran [9].

Para lograr crear dicha simulación fue necesario el uso de una página de extensión del INEGI conocida como Mapa DENUE (directorío estadístico nacional de unidades económicas), por medio de este será posible cuantificar las pérdidas económicas y humanas a causa de futuras inundaciones [10]. Cabe recalcar que debido a la posición geográfica de nuestro país, este se ve afectado por un sin número de fenómenos meteorológicos de gran magnitud, por tal razón el gobierno federal ha optado por estas tecnologías (SIG) [6] , una muestra de ello es la base de datos recabada en la página del INEGI, la cual pone a disposición de cualquier persona información de todo el territorio comprendido por la república mexicana, datos que comprenden desde topografía, edafología hasta uso de suelos [11] Una vez obtenido el polígono de afectación y de conocer las unidades económicas que se verían afectadas por una inundación donde se pretende crear un antecedente disponible para para recrear escenarios históricos de catástrofes en la cuenca del Río Misantla.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación de la cuenca.

Para iniciar a desarrollar este proyecto fue necesario delimitar, georreferenciar, estudiar y analizar la cuenca a la que pertenece el cauce del río Misantla de la región hidrográfica RH27Ae la cual cuenta con una superficie de 25415.63 ha. Para delimitar la cuenca fue necesario descargar las cartas topográficas E14B17 Y E14B27 de la página web del INEGI, una vez obtenida la carta se hizo uso del software AutoCAD para la visualización y delimitación de esta, por medio de polilíneas. Como paso siguiente se exporto el polígono creado al software ArcMap, se logró la georreferenciación de este por medio de un shape descargado de la página web del INEGI previamente cargado el cual ya estaba georreferenciado. Posteriormente se realizó una superposición del polígono de la cuenca para que este adoptara las características del shape antes mencionado con la ayuda de las herramientas en ArcMap

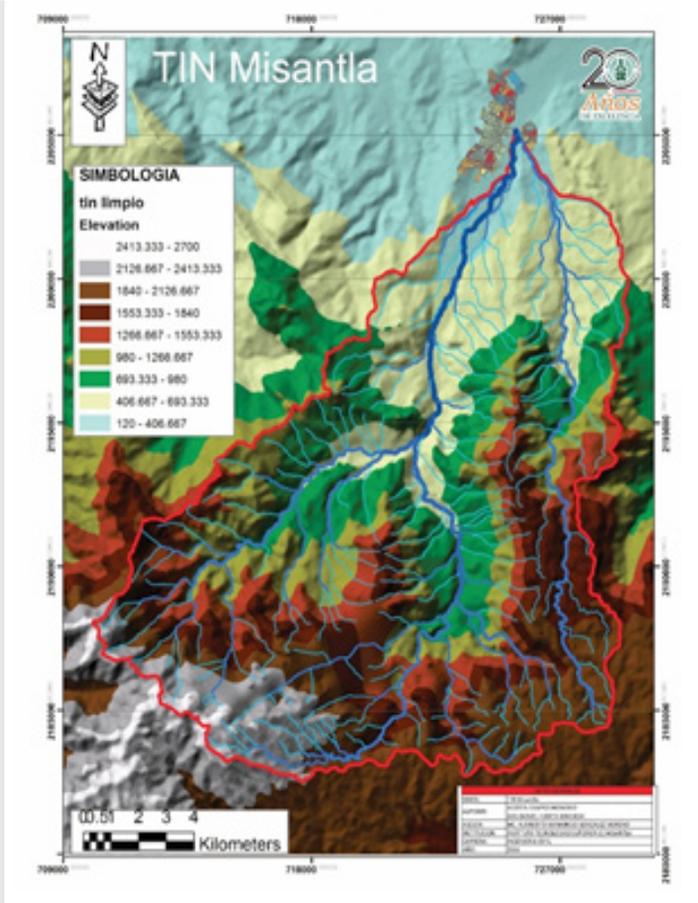


Figura 1. Mapa Cuenca del Río Misantla, Triangular Irregular Network (TIN).

y temperatura para su posterior análisis. Se manejó la información de manera tal que se obtuviera una temperatura promedio diaria y una precipitación promedio anual, de cada municipio. Una vez obtenidos los datos anteriormente descritos se procedió a situar las estaciones climatológicas dentro de la cuenca representadas por medio de un shape tipo point (de punto), colocadas las estaciones en sus respectivas posiciones fueron estas alimentadas con los datos obtenidos y analizados de CONAGUA. Dichos datos se resumen en la tabla que a continuación se presenta:

Tabla 2. Tabla de normales climatológicas de la cuenca de Misantla

Estación	Precipitación	Temperatura
1	19.25	21.38
2	8	20.36
3	6.98	12.637
4	12.08	22.92

En esta tabla se aprecia la información recabada de 4 estaciones climatológicas, siendo la numero 4 la de perote, pero esta se descartó debido a su lejanía con la zona estudiada.

Posteriormente se llevó a cabo una interpolación con los datos de precipitación y temperatura utilizando el programa ArcMap. Por medio de este se obtuvo una imagen formato grid con una Cell size de 100,100. Se procedió a reclasificar el tema de colores de dicho grafico para una correcta interpretación. Este tipo de procedimiento se aplicó a los dos tipos de datos utilizados.

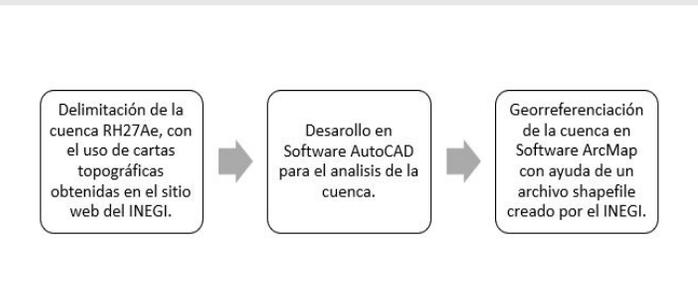


Figura 2. Metodología del proceso de estudio y análisis de la cuenca para el desarrollo del proyecto

Obtención y análisis de datos.

La fuente de información de donde se obtuvieron los datos hidro-meteorológicos recabados desde 01/02/2000 al 31/12/211 fue CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), específicamente se analizaron los datos recabados por 3 estaciones meteorológicas las cuales fueron Misantla con coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) N-2204947, E-724459, Naolinco con coordenadas UTM N-2167301, E-732429, Martínez con coordenadas UTM N-2221288, E-702457, todas ellas pertenecientes a la zona 14 De igual manera se investigó en la base de datos de CONAGUA las normales climatológicas de precipitación

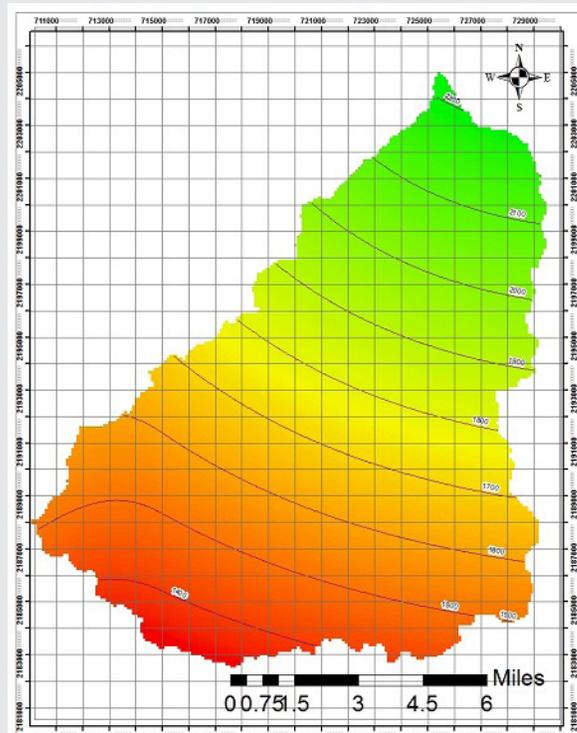


Figura 3. Cuenca del Río Misantla, Mapa de Isoyetas.

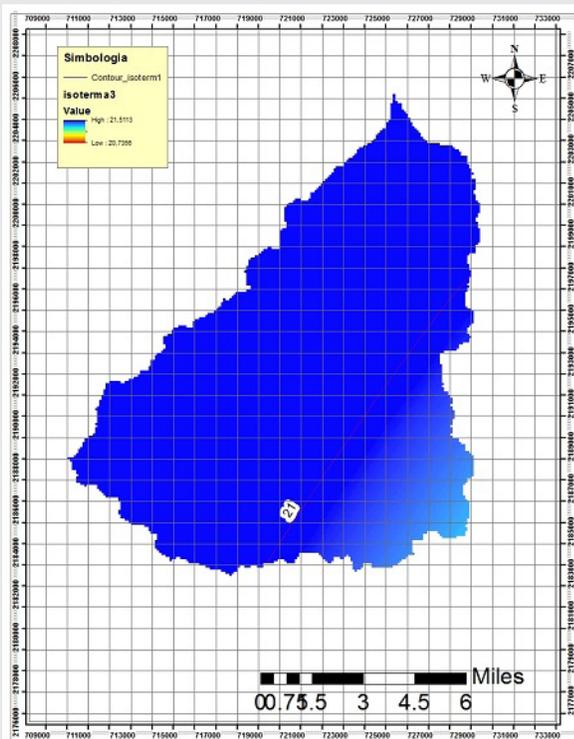


Figura 4. Cuenca del Río Misantla, Mapa de Isotermas.

Como siguiente paso se procedió a delimitar las variables trabajadas, isoyetas e isotermas, por medio de contornos mediante la herramienta de:

ARCToolbox

Una vez hecho lo anterior se continuo con el etiquetado de dichos parámetros, obteniendo los siguientes productos: mapas de isoyetas e isotermas.

Superposición Ráster

Después de haber obtenido los primeros resultados del software ArcMap fue necesario aplicar el uso de algebra de mapas para lo cual se necesitó contar con las diversas fórmulas que conforman el álgebra de mapas. La fórmula primordial a utilizar fue la del balance hídrico:

$$BH=PP/ETP \quad \text{Ec 1}$$

Donde:

BH= Balance hídrico

PP= Precipitación promedio

ETP= Evapotranspiración potencial

ETP= 58.93*Temp

Donde:

Temp=Temperatura

Para llevar a cabo una superposición raster es necesario contar con imágenes en formato GRID, dichas imágenes fueron las obtenidas en el apartado anterior. La ruta para el ingreso de la formula fue mediante la herramienta de:

ARCToolbox

Una vez ingresadas las fórmulas y al haber sido aplicadas a las imágenes GRID ya mencionadas el software generó un gráfico, el cual se le tuvo que reclasificar el tema de colores con los siguientes parámetros:

- BH>1=EXCESO HIDRICO
- BH=1=ESTABILIDAD HIDRICA
- BH<1=DEFICIT HIDRICO

De igual manera se definieron y etiquetaron los contornos del mismo. Con este mapa se concluyó que la cuenca del río Misantla está comprendida por un 82.92% de exceso hídrico y el otro 17.08% se encuentra en balance hídrico, el cual se localiza en las cotas más elevadas de esta cuenca.

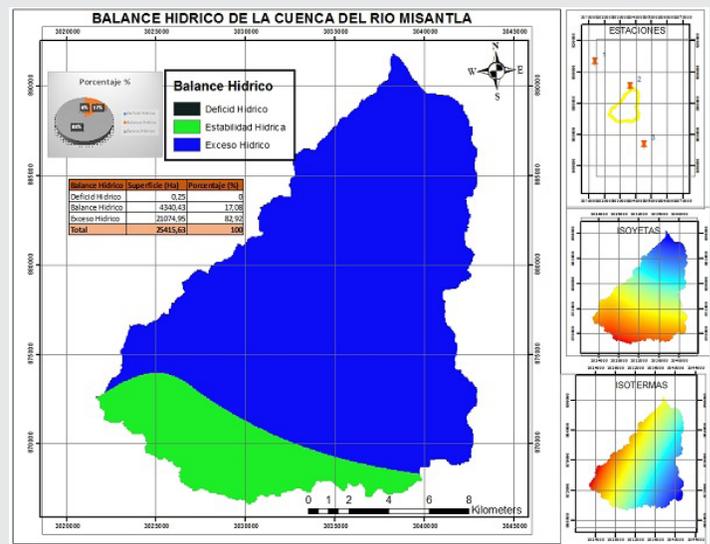


Figura 5. Cuenca del Río Misantla, Mapa de Balance Hídrico.

Después de trabajar con el balance hídrico se prosiguió a elaborar el mapa de capacidad de uso mayor de suelo en la cuenca de Misantla, para esto se utilizó el shape obtenido de la página web del INEGI de altimetría con una precisión de 20 metros.

Por consiguiente se procedió a generar un mapa de pendientes con la caja de herramientas ARCToolbox del software ArcMap, con el que se obtuvo un gráfico en formato GRID el cual se reclasificó de la siguiente manera, donde existiera poca pendiente el terreno sería usado para cultivos agrícolas, y donde hubiera pendientes más pronunciadas el terreno es utilizado como pastizal o en dado caso con fines forestales, como último intervalo, donde existen pendientes muy pronunciadas se utiliza como área de protección ya sea como cerro o barrancos, donde existe presencia abundante de vegetación. Gracias a la reclasificación e interpretación de este gráfico se pudo conocer el potencial de uso de suelo de la cuenca a la que pertenece el río Misantla.

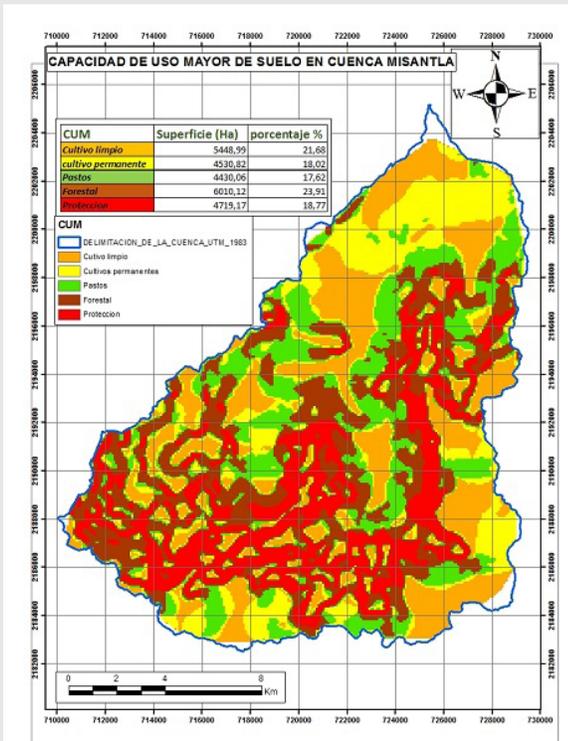


Figura 6. Cuenca del Río Misantla, Capacidad de uso de suelo.

Una vez obtenidos y analizados los mapas, se auxilió el avance de este proyecto por medio de una página web.

Gracias al software SIATL se obtuvieron las posibles cotas inundables al presentarse una avenida máxima con respecto a los periodos de retorno.



Figura 7. Interfaz SIATL

Por consiguiente, se realizó una superposición raster con los mapas antes mencionados, para obtener un polígono que diera a conocer con un alto índice de exactitud, las zonas que pongan en riesgo la integridad física de la población civil y de las estructuras. (Zonas de riesgo).

Tabla 3. Tabla de periodos de retorno de la cuenca de Misantla

PERIODO DE RETORNO CUENCA DEL RIO MISANTLA					
FECHA	LLUVIA (mm)	LLUVIA ORDENADO (mm)	NUMERO DE ORDEN (m)	PERIODO DE RETORNO (T)	PROBABILIDAD (p) %
2000	202	355	1	12	0.08333
2001	152	340	2	6	0.16666
2002	123	202	3	4	0.25
2003	130	187	4	3	0.33333
2004	130	152	5	2.4	0.41666
2006	122	148	6	2	0.5
2007	148	130	7	1.71423	5.83333
2008	340	130	8	1.5	0.66666
2009	187	128	9	1.33333	0.75
2010	355	123	10	1.2	0.83333
2011	128	122	11	1.09091	0.91666

Una vez obtenido este polígono, con la finalidad de cuantificar el posible daño ocasionado, se utilizó la herramienta de INEGI conocida como DENUE (directorio estadístico nacional de unidades económicas), el cual da a conocer el daño directo al municipio mediante un enlistado de las unidades económicas que se verían afectadas por la avenida máxima.

Al obtenerse dicha cuantificación, del posible daño, quedo plantada la idea de plasmar este proyecto en una aplicación móvil, con la finalidad de que cualquier persona pueda contar con dicha aplicación; la cual daría pie a nuevos procesos preventivos ante posibles inundaciones.

RESULTADOS

Con este proyecto se obtuvo un mapa digital el cual nos muestra la posible zona de riesgo afectada, ante la presencia de alguna avenida máxima ocasionada en la cuenca del río Misantla, asimismo se identificaron las zonas en las cuales sería factible el plantío de diferentes cultivos de acuerdo a la vulnerabilidad de la zona considerando las diferentes pendientes del terreno, también será posible generar una alerta para la posible reubicación de las familias que habitan en la zona más vulnerable y de peligro, para así evitar posibles pérdidas futuras, tanto económicas como humanas a causa de alguna avenida máxima, y así mantener un historial preventivo el cual evite la urbanización de esta zona.

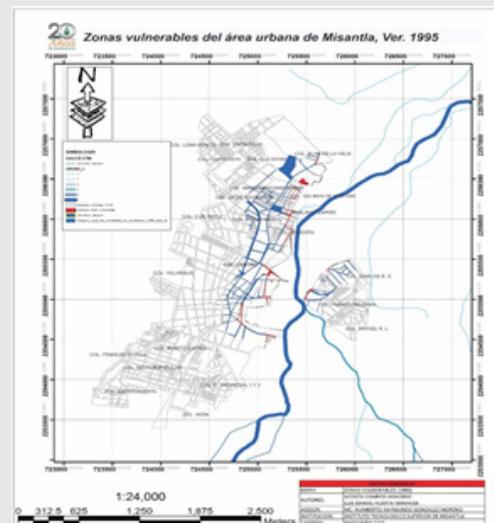


Figura 8. Mapa de zonas vulnerables del área urbana de Misantla, Veracruz, México 1995.

En la figura anterior se presenta una precipitación de 463 mm. de lluvia, resultaron afectadas las siguientes colonias: Plan de la Vieja, Salinas de Gortari, Marco Antonio Muñoz, 20 de noviembre, Emiliano Zapata, Peñafiel, Aviación, y la colonia centro. Damnificando a un sin número de habitantes. Este es un mapa NAME (nivel de agua máxima extraordinaria). Los datos de este mapa son resultados de la interpretación de la información obtenida de los pobladores de la ciudad.

Tabla 4. Cotas vulnerables de inundación

AÑO	GASTO (m3/s)	METROS ARRIBA (m)	COTA INUNDABLE
1995	2250	6	312
2000	982.53	6	304
2001	739.33	5	303
2002	598.34	3	301
2003	632.32	4	302
2004	632.32	4	302
2006	593.9	3	301
2007	719.87	4.5	302.5
2008	1653.9	10.3	308.3
2009	909.64	5.7	303.7
2010	1726.94	11	309
2011	622.59	3.8	301.8
2013(13/Sept)	1337.67	8.3	306.3
2013(22/Sept)	1707.48	10.62	308.62

De igual manera el resultado obtenido deja la información necesaria, para análisis climatológico el cual se pudiera presentar en la zona de estudio.

la colonia centro, Puerto Palchan y la colonia Carlos R. S. estando situadas en un nivel de 308.6 MSNM.

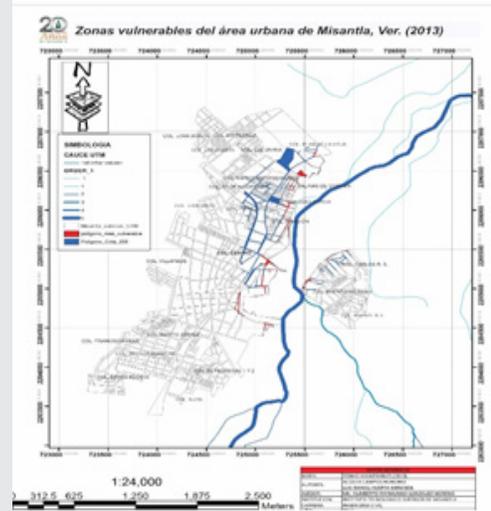


Figura 10. Mapa de zonas vulnerables del área urbana de Misantla, Veracruz, México, proyección a Precipitación 500 mm.

Una vez conocidas los establecimientos posiblemente afectados en caso de que ocurriera una inundación de esa magnitud, los propietarios pueden contratar un tipo de seguro el cual asegure sus casas en caso de ser afectadas ante las inundaciones posibles, de igual forma podrían solicitar a las autoridades competentes ser reubicadas debido a que la zona es vulnerable.

Las escuelas como son de un sector público pueden ser utilizadas como centros de albergues y auxiliar a la población cuando se pronosticará una inundación o sucediera dicho evento en el municipio de Misantla, asimismo solo debería verse con las autoridades del municipio la manera en cómo se abastecerían los víveres a los centros de albergues para los damnificados resultantes de un fenómeno natural, en este caso las inundaciones.

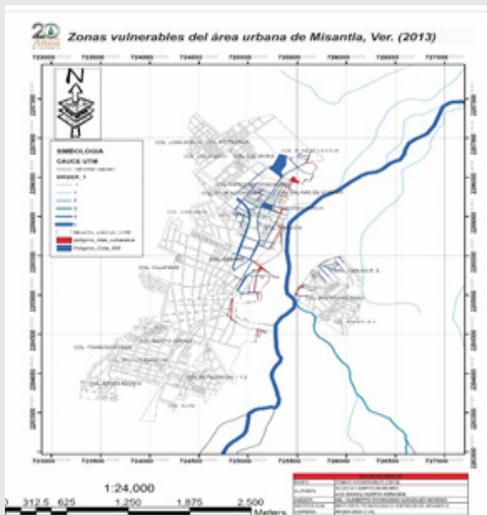


Figura 9. Mapa de zonas vulnerables del área urbana de Misantla, Veracruz, México 2013.

En este mapa se observan las colonias situadas en una zona vulnerable ante una avenida máxima generada por una precipitación de 275 mm de lluvia ocurrida en el año 2013, dichas colonias son las siguientes: Plan de la Vieja, Salinas de Gortari, Marco Antonio Muñoz, 20 de noviembre, Emiliano Zapata, Peñafiel, Aviación,

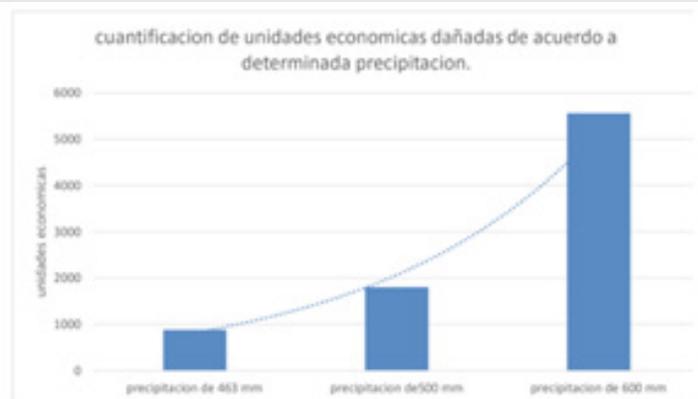


Figura 11. Tabla del sistema web BI, que muestra el resultado de la consulta.

CONCLUSIONES

Al obtener los polígonos de afectaciones en la ciudad de Misantla con respecto a futuras inundaciones, ob-

tenido por medio de un método matemático, se concluye después de analizado el proceso y las variables obtenidas que, dichos polígonos representan solo la zona "vulnerable" esto quiere decir que este polígono no representa la zona de riesgo real, es solo un área probable, pero es de gran utilidad en la toma de medidas precautorias.

De igual manera se concluye que esta metodología puede ser utilizada en cualquier otra cuenca, solo se debe analizar las condiciones de la nueva zona de estudio, tales como la existencia o no de datos climatológicos entre otras.

Al seguir los pasos aquí descritos de la metodología utilizada, fue posible comprobar la hipótesis que se planteó, debido a que la simulación se llevó a cabo exitosamente obteniendo resultados satisfactorios mostrando claramente cuáles son las zonas vulnerables ante una inundación generada por precipitaciones de diferentes índices.

La exitosa conclusión del presente trabajo aportó a la sociedad en general, herramientas útiles para la creación de medidas preventivas antes desastres naturales tales como avenidas máximas (inundaciones), dichas herramientas serán utilizadas mayormente por dependencias municipales tales como protección civil.

La realización de este proyecto permitió un enriquecimiento en los conocimientos de SIG (sistema de información geográfica), además mostró la gran variedad de aplicaciones que un SIG puede tener dentro de la ingeniería. Además de generar la inserción de esta ciencia dentro de las afectaciones posible en una sociedad que demanda mejor calidad de vida, contribuye como un tema para el debate no solo de dependencias gubernamentales e investigadores apegados con esta ciencia, sino también del alumno y la sociedad en general.

Con el análisis de los AGEB se logra visualizar el comportamiento de las áreas geoespaciales básicas de la ciudad de Misantla las cuales se encuentran aledañas al río Misantla, es por ello que estas áreas son visiblemente vulnerables ante la presencia de una inundación, para lo cual se recomienda que los habitantes de estos AGEB deberían encontrarse siempre alertas ya que debido a que es un fenómeno natural no se puede pronosticar con exactitud cuándo podría suceder, es por ello que debemos estar precavidos ante cualquier aviso de nuestras autoridades correspondientes a este tipo de eventos.

Conocer con exactitud las zonas de vulnerabilidad de esta ciudad es de gran importancia debido a que a través de ello nos servirá para la toma de decisiones sobre las construcciones futuras si así lo decidiéramos,

de construir en zona vulnerable a inundación y así podamos tomar algunos otros aspectos en consideración para que en un futuro nuestras construcciones no se vean afectadas por las inundaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a los Ingenieros Honorio Campos Acosta, Luis Daniel Huerta e Ignacio García Arguelles por su aporte en la realización investigación de campo y desarrollo de mapas primarios.

BIBLIOGRAFÍA

[[1] Díaz B. K. L. & Mamani C. N. R. (2020). *Diagnóstico situacional del abastecimiento del agua superficial del centro poblado de San Miguel de Viso - Huarochirí. Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Diagnóstico. Pp. 7-9.*

[2] Vergara D. A. I. (2019). *El agua."¿Cuál es la estructura, composición, función del agua, y cuál sería la utilidad que le daría el futuro profesional de la bacteriología?" FT-IV-015 Versión 2. Pp. 6-12.*

[3] L. O.-L. Jacobo Santander-Monsalvo, MARIANA VILLADA-CANELA, María de Lourdes Bello-Sánchez, "Situación jurídica para el manejo de los ecosistemas arrecifales de México," *Gob. y Manejo las Costas y Mares ante la Incert. Una Guía para Tomadores Decis., 2020, doi: 10.26359/epomex.0120.*

[4] García Naranjo & Celene Milanés Batista. (2019). *Nueva Metodología con enfoque de MIZC para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastre por Inundaciones. Pp. 193 -201.*

[5] Ibáñez Reguera R. E. (2016). *Análisis de la vulnerabilidad de inundación en la ciudad de Misantla, Veracruz. Facultad de Ingeniería. Región Veracruz. Proyecto de Intervención Profesional. Pp. 13-23*

[6] Santos Preciado Jose Miguel. (2020). *Sistemas de Información Geográfica. Universidad Nacional de Madrid. ISBN 978- 84-362-7616-9 Pp. 221-260.*

[7] Buzai G. & Baxendale C. (2010). *Análisis espacial con sistemas de información geográfica. Aportes de la geografía para la elaboración del diagnóstico en el ordenamiento territorial. Actas I Congreso Internacional sobre Ordenamiento Territorial y Tecnologías de la Información Geográfica. Obras Colectivas 24. Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá. (Versión CD). ISBN 978-84-8138-920-3 Pp. 7-19.*

[8] Zamora Hernandez, A., Rustrian Portilla, E., Sanchez Reyes, B. P. & Gonzalez Lopez, G. I. (2017). *Tecnología SIG para el monitoreo de la calidad del agua en Veracruz. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias Diciembre, 2017 Vol.4 No.13. Pp. 36-45.*

[9] Carrillo A. & Cadena V. (2019). *Terciarización y configuración espacial en México. Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal, ISSN online 2007-9621. Pp. 2-4.*

[10] Uribe Alcantara. E.M., Escamilla Casas, J. C. & Cruz Chavez E. (2018). *Evaluation of the official Mexican Digital Elevation Model (Mexican Elevation Continuum, CEM 3.0) from INEGI. Tecnología y Ciencias del Agua, 9(5), Pp.153-172, DOI:10.24850/j-tyca-2018-06-07*

[11] Rodríguez Hernández, L.D., Valdés Rodríguez, O.A., Ellis, E.A, Armenta Montero & S. (2020). *Analysis of vulnerability of the Río Misantla basin to extreme hydrometeorological phenomena. Revista Bio Ciencias 7, e900. Pp.1-7. DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e900>*