

# TRAZO TOPOGRÁFICO PRELIMINAR DEL EMBOVEDADO DE SAN ROQUE Y CONTEO DE CASAS UTILIZANDO UN DRON

PRELIMINAR TOPOGRAPHY OF SAN ROQUE UNDERGROUND CULVERT-ARCH AND HOUSE  
COUNTING WITH DRONE

Martín D. Mundo M., José L. Pérez D.,

Daniel Hernández C., Eber A. Godínez D.<sup>1</sup>

## RESUMEN

*El embovedado de San Roque (ESR) no tiene la delineación correcta sobre la carta urbana de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, menos aún en Google Earth. Tampoco está geo-referenciado a la Red Geodésica Nacional (RGN). En este documento se expone la metodología que se utilizó para la determinación del trazo topográfico preliminar y la geo-referenciación del embovedado de San Roque a la Red Geodésica Nacional (RGN) de INEGI, mediante el método topográfico de rumbos, así como las parametrizaciones del plan de vuelo del dron DJI Spark, para trazar de forma preliminar y desde el aire, a una altura de 100 m, la zona de riesgos del ESR, además de contabilizar por primera vez el número de casas y personas en la zona federal, sobre o adjuntas a dicho embovedado.*

**Palabras clave:** embovedados, mapa georeferenciado, método topográfico de rumbos, dron, zona federal.

## ABSTRACT

The San Roque underground culvert-arch does not have the correct outline on the urban chart of Tuxtla Gutierrez city in Chiapas, it is not geo-referenced on the national geodetic network, or even reflected on Google Earth. This document presents: a. Determination

of the correct topographic layout and georeference of the San Roque underground culvert-arch to the national geodetic network of the INEGI, using the topographic method bearing and azimuth determination, and b. The parametrization of the DJI Spark drone (property of the Chiapas Society of Civil Engineers, CICCH by its acronym in Spanish) flight plans over the underground culvert-arch, to trace from a 100 m height the risk area, as well as to assess and count the number of houses and people that live close to the federal area of the underground culvert-arch.

**Keywords:** Culverts-arch, georeferenced map, method bearing and azimuth determination, dron, federal zone.

## INTRODUCCIÓN

Un embovedado hidráulico es una estructura civil, que se construye sobre el cauce de un río o arroyo (de forma subterránea), normalmente dentro de la zona urbana de una ciudad, con el fin de conducir los escurrimientos pluviales en exceso por un canal artificial, con la idea de no ocasionar daños a la población civil, que ha invadido la zona federal de los cauces naturales. El ESR es una estructura que se construyó hace más de 50 años, es de geometría compuesta, desde la cimentación hasta la parte superior de los estribos tiene una sección rectangular, seguida de un arco bóveda de medio punto, cuyas dovelas descansan sobre los estribos (figura 1 y foto 1). La geometría del ESR se esquematiza en la figura 1 y tiene los siguientes elementos: 1. Estribo (stirrups), 2. Cimentación (foundation), 3. Clave (keystone), 4. Extrados, 5. Intradós, 6. Flecha (rise), 7. Riñones (voussoir), 8. Vano (clear span), 9. Base del canal (concrete surface or cyclopean concrete). Los riñones están formados por la parte externa del arco de medio punto. Ver figura 1.

<sup>1</sup>Integrantes del Cuerpo Académico Ciencia e Ingeniería. Facultad de Ingeniería (FI). Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Email: ic\_ingenieros@yahoo.com.mx

## ANTECEDENTES

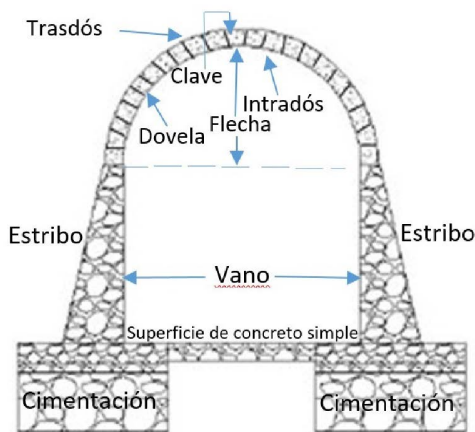


Figura 1. Embovedado (Gutiérrez, 2008; Mundo et., al, 2019b)



Foto 1. Embovedado con estribos de mampostería de piedra y arco bóveda de ladrillo (Mundo, 2019a)

El ESR tiene una longitud de 1341.29 m, inicia en la 9ª sur y 3ª oriente y desemboca en las proximidades de la 3ª norte y 7ª poniente, en el cauce principal del río Sabinal. Fue construido por partes, algunos tramos con mampostería de piedra, otros con mampostería de ladrillo y algunos más recubiertos con concreto reforzado. Tiene áreas geométricas que van desde los 8.73 m hasta los 15.18 m<sup>2</sup>, en contraposición de un buen diseño hidráulico; transporta no solo el agua de lluvia que discurre desde el límite norte de Copoya hasta el cauce principal del río Sabinal, sino también las aguas negras de un sector de la ciudad, por un canal cuyo trazo topográfico no está geo-referenciado en la carta urbana de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

Para ejecutar la construcción por tramos del ESR hace más de 50 años, se debieron efectuar estudios topográficos en las diversas gestiones municipales de la ciudad, con el fin de trazar la obra desde la 9ª sur y 3ª oriente hasta su desembocadura, en las proximidades de la 3ª norte y 7ª poniente. La construcción de los primeros tramos se realizó entre los años 1965 y 1975, sin embargo, a la fecha no se ha encontrado ninguna información, ni planos topográficos del proyecto, tampoco reportes técnicos sobre su construcción. Por lo tanto, para este trabajo no se dispuso de ningún antecedente técnico del ESR. Esto tiene implicaciones relevantes, debido a que, sin un proyecto topográfico, no se pueden realizar los estudios hidráulicos pertinentes, ni ubicar, con formalidad los socavones, ni las estructuras dañadas en el embovedado. Por estas razones, en este documento se enuncian solamente algunos antecedentes de varias incursiones recientes para estudiar los socavones (Mundo, 2018; Pérez et al., 2020), realizadas por un grupo numeroso de especialistas de la Facultad de Ingeniería de la UNACH y del Colegio de Ingenieros Civiles de Chiapas (se sugiere ver el video elaborado por el Cuerpo Académico "Ciencia e Ingeniería" de Universidad Autónoma de Chiapas: [https://www.youtube.com/watch?v=MkXuOTc\\_Vkl](https://www.youtube.com/watch?v=MkXuOTc_Vkl)).

*Colapsos y riesgos del embovedado de San Roque.* Por su importancia, se describen los antecedentes de los eventos más relevantes ocurridos en los últimos años en el ESR, dividido en dos apartados: 1. Los colapsos, y 2. Los riesgos potenciales por la falta de mantenimiento de la estructura y por el proceso de deterioro de sus materiales relacionado con la vida útil de los mismos.

*Colapsos.* El 2 de septiembre de 2016 un tramo del ESR se colapsó en las proximidades de la 12 avenida sur y 3ª calle oriente de Tuxtla Gutiérrez, debido a las lluvias intensas que dejaron un volumen por unidad de superficie de 115 l/m<sup>2</sup>. Los escurrimientos sin control superaron la capacidad hidráulica del ESR, arrastraron vehículos y dañaron viviendas ante el desborde del arroyo (Mundo et al., 2019b). En la foto 2 se puede ver un tramo del ESR colapsado. El exceso de agua en el arroyo, la falta de mantenimiento, la acumulación de basura, los empujes hidráulicos, la alta velocidad del flujo, la erosión y socavación

ocasionaron el colapso de un tramo del ESR y de una vivienda, así como el daño parcial de 10 casas más (Alvarado, 2016).



Foto 2. Embovedado colapsado en el arroyo San Roque (Mundo et., al, 2019b; Alvarado, 2016).

Muchos meses después se desplomó un pequeño tramo del ESR en un área donde la ruta subterránea del embovedado atraviesa al sector más poblado de la microcuenca. El ESR pasa por debajo del Andador Comercial San Roque (ver figura 6), y a partir de allí hacia las proximidades de la 3ª norte y 7ª oriente, la densidad de población sobre y/o adjunto al embovedado aumenta. Justo en esa zona, a la altura de la 1ª norte y 7ª oriente de la ciudad se colapsó un trozo de embovedado, adjunto a la banquetta y patio de recreo de la Escuela Primaria “Fray Matías de Córdoba” (foto 3). Una pequeña porción de una losa colocada encima del ESR, además de un fragmento importante del arco-bóveda y una viga localizada en su interior fallaron por diversos problemas estructurales, entre los más relevantes: la corrosión del acero de refuerzo y la carbonatación del concreto.



Foto 3. Colapso del ESR adjunto a la Escuela Primaria Fray Matías de Córdoba. (Elaboración propia)

Cuando se recorre el interior del ESR de aguas abajo hacia aguas arriba, el sitio abatido (foto 3) se puede localizar en el cadenamamiento 0+145 (es decir, a 145 m del desfogue del ESR en el cauce principal del río Sabinal), donde se observaba un boquete producto del colapso. Afortunadamente ningún estudiante ni peatón resultó dañado. Posterior al derrumbamiento, un tramo de la zona interior del ESR mostrada en la foto 3, fueron estudiados por Pérez et., al (2020). En dicho trabajo se exponen los diversos argumentos técnicos sobre el derrumbe y el estado general del embovedado y de la viga localizada en ese tramo. Cabe destacar que no es el único sitio del ESR que es atravesado por una viga de concreto. Las vigas interiores que cruzan el embovedado en sus diversos tramos, sostienen banquetas, trozos de calles y tuberías de la red de agua potable de la ciudad; varias de estas vigas se encuentran muy deterioradas, debido al ambiente agresivo al interior del ESR, por causa de los sulfuros, metano, anhídrido carbónico, humedad relativa alta y diversos gases que emanan de las aguas negras (se sugiere ver el video elaborado por el Cuerpo Académico “Ciencia e Ingeniería” de la FI de la UNACH: [https://www.youtube.com/watch?v=MkXuOTc\\_Vkl&ab\\_channel=ProyectosHidraulicaUnach](https://www.youtube.com/watch?v=MkXuOTc_Vkl&ab_channel=ProyectosHidraulicaUnach) (UNACH, 2018).

Por el efecto de los gases y la alta humedad relativa, casi todas las vigas y recubrimientos de concreto reforzado que están en el interior del ESR, tienen procesos severos de corrosión y carbonatación, como lo confirmaron Pérez et al., (2020). Estas circunstancias se suman a la falta de capacidad hidráulica del ESR generando diversos tipos de riesgos, incluso de posibles futuros colapsos como se afirma en Mundo et., al (2020). En ese tenor, a continuación se demuestra que el riesgo de un posible colapso del ESR en el futuro es distinto de cero (desde el punto de vista probabilístico).

**Riesgos.** El diccionario de la Real Academia Española (RAE, 1992), define el riesgo como la contingencia o proximidad de un daño. La contingencia debe interpretarse como la probabilidad (P) de que algo suceda o no suceda. Así, la probabilidad matemática de que un evento A ocurra o no, depende de la ley de probabilidades. Si el evento A no ocurre, entonces su probabilidad es cero, en contraposición, la máxima probabilidad de ocurrencia de A es uno (Lizárraga, 1980):

$$P(\emptyset)=0 \quad (1)$$

$$P(\cap)=1 \quad (2)$$

Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia del evento A, es (Lizárraga, 1980)

$$0 \leq P(A) \leq 1 \quad (3)$$

Cuando un evento de una muestra probabilística ya ha sucedido, su probabilidad de ocurrencia es distinta de cero, en consecuencia, desde la perspectiva probabilística se puede enunciar de forma taxativa que la probabilidad de un nuevo colapso en el ESR es distinta de cero, debido a que ya han ocurrido, por lo menos dos colapsos en tramos distintos en un periodo de al menos 50 años. De asumir estos razonamientos probabilísticos se colige que, el nivel de riesgos R de colapso del ESR es distinto de cero. El riesgo se debe estimar con la siguiente ecuación (INDECI, 2006):

$$R=[P(A)](V) \quad (4)$$

Donde P es la probabilidad de ocurrencia del evento (A) y V es la vulnerabilidad expresada en términos porcentuales. El término V es el resultado de aplicar la matriz de vulnerabilidad (V), dividida en cuatro niveles: muy alta (76 al 100%), alta (51 al 75%), media (26 al 50%) y baja (menor a 25%).

El riesgo (R) y la vulnerabilidad (V) la deben definir los expertos, según sus especialidades. En el caso del ESR existen al menos cuatro tipos de riesgos que amenazan su estabilidad (posible colapso): 1. *Hidrológicos*, por el exceso de caudal que actualmente no es capaz de transportar, 2. *Hidráulicos*, por las secciones hidráulicas reducidas, por la erosión y los socavones provocados por las altas velocidades del agua al interior del ESR; por los empujes hidrodinámicos que el flujo impone a las paredes del embovedado en una inundación; por el cambio de las leyes hidráulicas en la operación del ESR (de canal a superficie libre a tubo lleno, cuando ocurren grandes escurrimientos), 3. *Sísmicos*, por las fallas posibles que pueda generar al embovedado la alta sismicidad del estado de Chiapas y 4. *Estructurales*, por la falta de mantenimiento y la disminución natural de la vida útil de los materiales del ESR; por los asentamientos diferenciales que el suelo tiene, debido a que el embovedado se ubica en una zona de arcillas expansivas y suelos permanentemente saturados.

Existe otro tipo de riesgo que no tienen que ver

con el colapso del ESR, sino más bien con los problemas de salud que su presencia posibilita para las personas que viven en los límites de su zona de influencia, es decir, el riesgo sanitario (RS). El RS lo representa la presencia permanente de aguas negras que contaminan al arroyo de San Roque y al río Sabinal; la contaminación del arroyo es constante e impacta a personas que viven en su alrededor, no solo por la emisión de gases y olores fétidos, sino porque además se reproducen en su interior cientos de insectos blatodeos, roedores *Rattus norvegicus* (Mundo et., al, 2020), que suben a los hogares a través de las alcantarillas y contaminan todo lo que tocan, con la posibilidad de transmitir diversos tipos de enfermedades; las ratas por ejemplo pueden transferir *Coriomeningitis Linfocítica*, *Síndrome hemorrágico pulmonar*, *Encefalitis de Powassan*, *Triquinosis*, *Hymenolepiasis*, *Toxoplasmosis*, *Leishmaniasis visceral*, *Leishmaniasis cutánea*, *Chagas*. Las cucarachas pueden alojar y transpasar alrededor de 40 especies de bacterias, de las que al menos 25 pertenecen al grupo *Enterobacteriaceae* causantes de gastroenteritis en humanos (Mundo et., al, 2020). Algunas afecciones pueden incluso provocar la muerte como la *chikungunya*, *dengue hemorrágico* y *malaria* que son transmitidos por ciertas especies de zancudos (Mundo et., al, 2020).

## MATERIALES Y MÉTODO

Se presenta por un lado la metodología para obtener el trazo topográfico del ESR, como una aproximación para su inserción preliminar en la red hidrográfica de la subcuenca del río Sabinal en Google Earth. Y por otro, las parametrizaciones del plan de vuelo del dron sobre el embovedado para trazar la zona de riesgos, contabilizar por primera vez el número de casas y de personas que viven sobre o adjuntas al ESR. A continuación, se describe de forma sucinta el trazo del embovedado por el método de rumbos.

*Trazo topográfico por el método de rumbos.* Después de la primera incursión al ESR realizado por un equipo de expertos de diversas especialidades en octubre de 2018 (UNACH, 2018), se decidió realizar de forma apremiante su trazo. De acuerdo con los recursos económicos del momento, solo había dos opciones para no aplazar la ejecución de los estudios topográficos, utilizar un método no tan preciso, pero

económico para continuar con el proyecto, o esperar los recursos financieros para contratar una estación total. Así, en una primera fase, se decidió utilizar el método de rumbos y en la segunda ejecutar la topografía con la estación total.

Los materiales utilizados en la primera fase fueron: libreta de campo, plomadas, balizas, estadales, cintas métricas largas, pintura indeleble, brújula topográfica y nivel fijo. El trabajo consistió en obtener la planimetría y la altimetría del ESR. Con la planimetría se consiguió la posición relativa de los puntos del terreno, respecto a una referencia o banco de nivel (BN), es decir, el trazo en un plano horizontal. Y con la altimetría se determinaron las alturas de los diferentes puntos del terreno, con respecto a una superficie de referencia. La primera actividad consistió en localizar un banco de nivel de la RGN, como la que se muestra en la figura 2.



Figura 2. Banco de Nivel. Idem., a 4 c.

El BN se localizó sobre el andador en la margen izquierda del río Sabinal, en las proximidades de la 3ª norte y 7ª oriente, a escaso 50 metros de la desembocadura del ESR. Luego se "ligaron" los datos del BN a la entrada del embovedado. Allí se colocó un BN (XYZ) de referencia y se posicionó el "nivel fijo" para realizar la altimetría. Al mismo tiempo, en dicho banco se estableció el cadenamiento inicial (0+000) sobre el eje del embovedado, a partir del cual se fueron referenciando (en la pared derecha del mismo) a contracorriente y a cada 20 m los cadenamientos (foto 4), es decir, del 0+020 hasta el final (1+341.29).



Foto 4. Cadenamiento del embovedado. Idem., a 4c.

Los pasos que se siguieron para aplicar el método de rumbos son los siguientes:

1. En el cadenamiento 0+000 se estableció el primer punto de liga (PL), nivelando la brújula apoyados en una baliza. Luego, con ésta y la cinta métrica se determinaron los rumbos directos e inversos, con relación a la meridiana magnética y las distancias horizontales, respectivamente.
2. Después, en cada punto de cambio de dirección horizontal, se establecieron las marcas de las "curvas simples o inversas" (figura 3), denominando: PC (principio de curva), PT (principio de tangente) y PI (punto de inflexión o cambio de dirección, justo donde se intersecan la tangente de entrada y la tangente de salida).

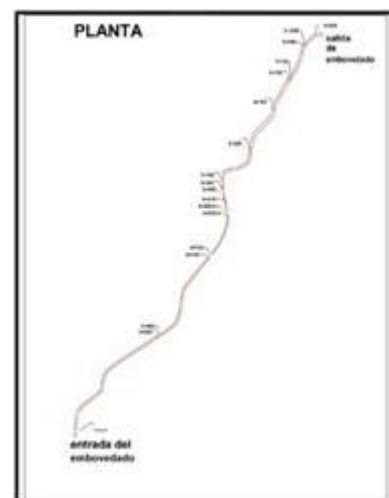


Figura 3. Trazo topográfico. Idem., a 4c.

3. En el cadenamamiento 0+000 se estableció con la brújula el primer rumbo (figura 4), para avanzar hacia el primer PI del embovedado a contracorriente. Es decir, se caminó en la dirección de una línea definida por dicho rumbo hacia el primer PI, localizado a una distancia x (medida con cinta), para establecer el primer PC, PI y PT. Se encontró el primer ángulo horizontal que dicha línea forma con el eje norte-sur, su valor está comprendido entre 0° y 90°; a partir del Norte o a partir del Sur, hacia el Este o hacia el Oeste.

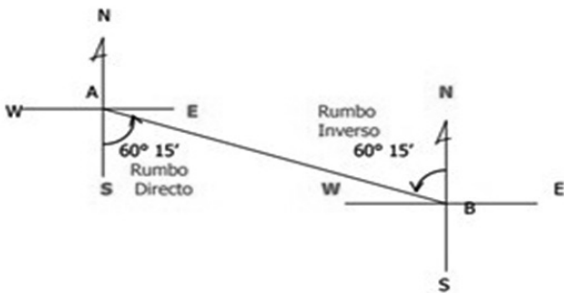


Figura 4. Método de rumbos (Zamarripa,2010)

- 4. Así, en cada PI se repitieron los pasos 2 a 4, hasta concluir en el cadenamamiento 1+341.29.
- 5. Luego, se transformaron los rumbos a azimut, con el auxilio de la tabla 1.
- 6. Para calcular el azimut a partir de rumbos es necesario tener en cuenta el cuadrante en el que se encuentra la línea. Observando la figura anterior se puede usar la tabla 1.

Tabla 1. Conversión de Rumbo

CUADRANTE	AZIMUT A PARTIR DEL RUMBO
NE	Igual al rumbo (sin las letras)
SE	180° - Rumbo
SW	180° + Rumbo
NW	180° - Rumbo

7. Con la tabla 1 y las ecuaciones (5) y (6) se obtuvieron las proyecciones (PY) y las coordenadas de cada uno de los vértices.

$$PY(e-w)=(\text{seno del azimut})(\text{distancia horizontal}) \quad (5)$$

$$PY(n-s)=(\text{coseno del azimut})(\text{distancia horizontal}) \quad (6)$$

8. Finalmente, se corrigieron los errores lineales. Se destaca que fueron menores que la tolerancia asumida.

Cabe señalar algunas dificultades encontradas: a 700 metros aproximadamente después de ingresar al ESR (desde la salida del embovedado hacia aguas arriba) había un socavón con profundidades variables, que abarcaba todo su ancho. La profundidad media era de 1.65 m y la profundidad máxima de 1.80 m. Dicho socavón se tuvo que navegar utilizando una balsa (foto 5). A pesar de esa dificultad el método de rumbos se pudo aplicar, no sin ciertas dificultades, para sortear el socavón mostrado en la foto 5.



Foto 5. Navegando el Socavón, Idem.

### PARAMETRIZACIONES DEL PLAN DE VUELO DEL DRON, TRAZO Y CONTEO DEL NÚMERO DE CASAS

En este apartado se enuncian las parametrizaciones más relevantes del plan de vuelo del dron DJI Spark, del Colegio de Ingenieros Civiles de Chiapas, para trazar, de forma preliminar y desde el aire (a una altura de 100 m), la zona de riesgos.

Para planificar un plan de vuelos es necesario disponer de los parámetros técnicos de la óptica del dron, los más relevantes son la distancia focal y el tamaño de las imágenes. El dron DJI Spark tiene una cámara con un sensor CMOS de 1/2.3", y un estabilizador gimbal de dos ejes, con la capacidad de realizar vídeos a 1080p y hacer fotos a 12 megapíxeles, todo ello con un ángulo de visión de 81.9° (distancia focal de 25 mm). Además, tiene una función denominada QuickShot que permite reducir un minuto de grabación a 10 segundos con el fin de compartirlo rápidamente.

La secuencia para el cálculo de los parámetros del plan de vuelo del dron (figura 5), se enuncia a continuación: a). Altura de vuelo, b). Tamaño de la zona a mapear, c). Distancia entre fotografías, d). Recurrencia de imágenes, e). Número de fotografías por pasada, f). Número de pasadas, g). Número total de fotografías.



Figura 5. Plan de vuelo DRON (GIS, 2020)

Sin embargo, solo se parametrizaron dos elementos: la altura de vuelo y el tamaño de la zona a mapear, el resto de las parametrizaciones no fueron necesarias. El parámetro c no fue necesario porque no se tomaron fotos (solo videos). Los parámetros d, e y f están ligados con el c. Respecto al número de "pasadas" se determinó que, con un solo traslado bastaría, debido a que en una prueba preliminar, se probó que recorriendo 1.2 km en 5 minutos, es decir, a una velocidad promedio de 4 m/s, se tendría el tiempo necesario para usar adecuadamente la energía de la batería del dron (que dura aproximadamente 20 min) y con ello obtener las imágenes con la claridad suficiente como para observar una franja apreciable de la zona de estudio y las casas sobre o adjuntas al ESR.

Por otra parte, la altura de vuelo determina la escala sobre la que se desea trabajar. Una relación entre la distancia focal del sensor y la altura de vuelo, proporciona la escala de trabajo (GIS, 2020), como se observa en la igualdad 7.

$$1/Et = f/H \quad (7)$$

Donde, Et es la escala a la que se desea trabajar, f es la distancia focal de la cámara, H es altura del vuelo. Respecto al tamaño de la zona a mapear, existe una proporción constante entre el tamaño de los objetos del video y el tamaño de la zona mapeada. Se puede identificar la superficie analizando el ancho y el largo de los fotogramas del video con base a la altura, a partir de las siguientes relaciones (GIS, 2020):

$$A = a * Et \quad (8)$$

$$L = b * Et \quad (9)$$

$$S = A * L \quad (10)$$

Donde, A es el ancho de la superficie, L es la longitud de la superficie, S es la superficie, Et es la escala a la que se desea trabajar, a es el ancho y b es la longitud que puede capturar el sensor.

## RESULTADOS

Se trazó y geo-referenció el ESR, de forma preliminar, a la Red Geodésica Nacional con el método de rumbos; ahora se puede insertar en el Google Earth con buena precisión (figura 6).



Figura 6. Trazo del embovedado en la zona más densamente poblada de la microcuenca, Idem.

Por otro lado, se parametrizó el plan de vuelo del dron para delinear, de forma preliminar y desde el aire, a una altura de 100 m, la zona de riesgos. Los resultados se pueden ver en la siguiente liga de YouTube:

[https://www.youtube.com/watch?v=2PKq8NiaRTQ&ab\\_channel=ProyectosHidraulicaUnach](https://www.youtube.com/watch?v=2PKq8NiaRTQ&ab_channel=ProyectosHidraulicaUnach).

Se contaron por primera vez, 131 casas, adjuntas o sobre el embovedado de San Roque, en la zona federal del arroyo, en la que viven aproximadamente 655 personas (este resultado puede variar un poco, si se define mejor la zona federal del ESR).

## CONCLUSIONES

En México y en varios países de América Latina los embovedados representan un riesgo para las familias que viven cerca, adjunto o sobre ellos (Mundo et., al, 2019b), cuando colapsan generan daños severos a la infraestructura de las ciudades y además pueden

causar la pérdida de vidas humanas. Un ejemplo de lo anterior es el derrumbamiento del ESR el 2 de septiembre de 2016 en la microcuenca de San Roque, cuando los escurrimientos generados por las lluvias intensas de esa tarde colapsaron un tramo del embovedado de San Roque, derrumbando una casa y dañando a 10 más. Cabe destacar que este evento se puede repetir y debe considerarse que adjunto o sobre el embovedado viven (en un conteo preliminar) aproximadamente 655 personas. Por esa razón en este trabajo se presentó la delimitación preliminar de la zona de riesgos y el conteo de 131 casas adjuntas o cercanas al ESR, así como el trazo del embovedado por el método de rumbos. Por otra parte, este trabajo contribuyó a insertar dicho arroyo y su embovedado de forma adecuada en la carta urbana de la ciudad y en el mapa de Google Earth.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los alumnos que participaron en el proyecto y realizaron el levantamiento topográfico: Marín Cuesta Rodolfo, Pérez Pérez Daniel Alejandro, Gómez Pérez Bulmaro, Miceli García René, Hernández Moreno Mauricio, Constantino Flores Raúl, Gumeta Farrera Jairo, Gutiérrez Orantes Sergio, Gómez Pérez Ernesto, Antonio Domínguez William, López Pérez Edilser, Pérez Sánchez Josué, Palacios Briones Elí, Martínez Cruz José, Velázquez Bravo Lusvín, Hernández de los Santos Efrén, Gerón Jiménez Braulio, Díaz Mazariegos Esteban, López Gómez Jhorlyn, Sánchez Anaya Alexis y Ruíz Camacho Óscar.

### REFERENCIAS

- Alvarado, M.A. (2016). Afectados en San Roque temen que los dejen solos. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Recuperado de: <https://www.nvnoticias.com/nota/32684/afectados-en-san-roquetemen-que-los-dejen-solos>
- GIS. (2020). Parametrización del plan de vuelos. Recuperado de: <http://www.gisandbeers.com/planificacion-del-plan-de-vuelo-drones/>
- Gutiérrez, M. (2008). Teoría y diseño de una bóveda. Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad del Salvador. San Salvador, El Salvador.
- INDECI. (2006). Manual básico para la estimación del riesgo. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Lima, Perú.
- Lizárraga, G.I., Márquez, S. (1980). Probabilidad. McGraw-Hill. México.
- Mundo M. M., Hernández, C. D.(2020). Origin of water channel erosion and hydraulic problems of the san roque underground culvert-arch: maximum flow stream and maximum velocity permissible. *Journal of Water Resources and Protection*. 12, 1123-1139. doi: 10.4236/jwarp.2020.1212066.
- Mundo, M. M. (2018). Estudio topográfico, hidrológico, hidráulico y riesgo estructural del embovedado San Roque del río Sabinal. Informe técnico. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Mundo, M., Díaz, J., Cruz, D. and Domínguez, E. (2019b). The Collapse of Culverts-Arch in Several Cities around the World, Technical Arguments for Their Maintenance and a Legal Proposal for Prohibiting Their Construction in Mexico. *Journal of Water Resource and Protection*, 11, 1489-1502. doi: 10.4236/jwarp.2019.1112087.
- Mundo, M.M. (2019a). Metodología para corregir socavones en canales embovedados. Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Pérez, D. J.L., Domínguez, G. E., Mundo- Molina, M., Cruz, H.D. (2020). Inspección por corrosión y estructural de un elemento de concreto reforzado interno, que atraviesa al embovedado de San Roque en el cadenamiento 0+145, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Espacio I+D Innovación y Desarrollo*. No. 21, volumen VIII.
- RAE. (1992). Diccionario de la Real Academia Española (RAE). Espasa, Madrid, España
- UNACH. (2018). Embovedados: el lado oscuro de la ciudad. Video elaborado por la Coordinación de Comunicación Universitaria de la Universidad Autónoma de Chiapas. Recuperado de: [https://www.youtube.com/watch?v=MkXuOT\\_c\\_Vkl](https://www.youtube.com/watch?v=MkXuOT_c_Vkl).
- Zamarripa, M. (2010). Apuntes de topografía. Facultad de Estudios Superiores Acatlán. UNAM. Ciudad de México, México.