

Nota Técnica



Sistematización en la inspección de cauces y obras hidráulicas

Systematization in the inspection of riverbeds and hydraulic works

Efraín Urías Moreno^{1*}, Alfonso Gutierrez-Lopez¹, Gricelda Jimenez Jaimes²,
Jaime Garatuza Payan³, Eusebio Ventura Ramos¹

*Autor de correspondencia

HISTORIA DEL ARTÍCULO

Recibido 17 Marzo 2023
Revisado 30 Junio 2023
Aceptado 3 Octubre 2023
Publicado 14 Noviembre 2023

PALABRAS CLAVE

Inspección, Meandros, Dren,
Sistematización, Inundaciones

KEYWORDS

*Inspection, Meander, riverbed,
Systematization, Flood*

Resumen

El desarrollo urbano y aumento de áreas impermeables ha sido la principal problemática para el manejo de las aguas pluviales en zonas urbanas. En México ocurren demasiados desastres por un mal manejo de aguas pluviales, lo que podría evitarse con una buena inspección de cauces antes y después de las tormentas. El presente trabajo se desarrolló en el arroyo El Madroño de la presa Santa Catarina. Se realizó un análisis forense en el arroyo El Madroño. De igual manera, se realizaron los recorridos correspondientes para poder ejecutar, una inspección de cauces y obras hidráulicas de manera factible con el fin de prevenir desastres. El objetivo del trabajo fue inspeccionar drenes que llegan a tener desastres por escurrimiento en áreas urbanas y rurales, como resultado, obtuvimos un manuscrito que contiene un análisis forense de inundaciones para las autoridades de Protección Civil del estado y la Comisión Nacional del Agua. Llevando a cabo este trabajo, concluimos que no contamos con una normatividad adecuada para las necesidades actuales. Es por eso que decidimos llevar a cabo un manuscrito tomando en cuenta cada una de las áreas de oportunidad en la construcción hidráulica.

Abstract

Urban development and the increase in the impervious areas has been the main problem for the management of storm water in urban areas. In Mexico, too many disasters occur due to poor storm water management, which could be avoided with a good inspection of riverbeds before and after storms. The present article was developed in El Madroño stream of the Santa Catarina Dam. A forensic analysis was carried out in the El Madroño stream. Likewise, the corresponding routes were carried out to be able to realize an inspection of riverbeds and hydraulic works in a feasible manner in order to prevent disasters. The objective of the work was to inspect riverbeds that have runoff disasters in urban and rural areas. As a result, we obtained a manuscript that contains a forensic analysis of floods for the state's Civil Protection authorities and the National Water Commission. Performing this work, we conclude that we do not have the adequate regulations for current needs. That is why we propose a manuscript taking into consideration each of the areas of opportunity in hydraulic construction, so it can be in a good state and prevent these disasters.

- 1 Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Cerro de las Campanas, 76010 Querétaro, México. efrainmoreno7@hotmail.com / alfonso.gutierrez@uaq.mx / eventura@uaq.mx
- 2 Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, Dirección Técnica Local Querétaro, México maria.gricelda.jimenez@uaq.mx
- 3 Vicerrectoría Académica Instituto Tecnológico de Sonora ITSON. garatuza@itson.edu.mx

1. Introducción

El escurrimiento en ríos es uno de los fenómenos físicos más complejos a estudiar dentro de la hidráulica fluvial. La constante interacción de causa-efecto entre la propagación de una onda de avenida y las condiciones geológicas de la sección transversal de un cauce, son sin duda el génesis de fenómenos como el ensanchamiento, socavación o meandro en ríos. Dentro de la hidráulica fluvial, el escurrimiento llega a ser uno de los fenómenos físicos más complejos a estudiar. En la actualidad numerosos estudios se llevan a cabo para predecir el comportamiento de un río con base en este tipo de procesos. Sin embargo, la verificación en campo siempre será prioritaria. En el marco de los procesos del ciclo hidrológico, es importante señalar que el proceso lluvia-escurrimiento es sin duda de los procesos más importantes, pero también más dañino. Se necesita realizar un procedimiento para caracterizar el meandro en un río, del cual se deben caracterizar todas las etapas, desde la juventud hasta la madurez y su completo desarrollo. En la hidráulica urbana; la inspección de cuencas urbanas se basa en la inspección de drenes y canales. Estas estructuras son las que más se desbordan y generan consecuencias graves con mayor frecuencia, ocasionando daños a la comunidad como inundaciones (Bouvier et al., 2003; Werner, 2005; Rodríguez et al., 2008). Este fenómeno es gracias al incremento de los caudales por tener una infiltración de superficie de cero (Mignot et al., 2006). El desarrollo urbano, la pavimentación y la proporción cada vez menor de espacios verdes en relación con las zonas edificadas traen como consecuencia un aumento notable de los escurrimientos pluviales en las ciudades (Segond et al., 2007). En zonas urbanas, sobre todo es la intensidad lo que causa directamente las inundaciones, es decir la variabilidad de una lámina de lluvia en el tiempo (Cunderlik y Ouarda, 2007; Svensson, 2007; Ben-Zvi, 2009). Todo este desarrollo urbano y aumento de áreas impermeables es el principal problema para el manejo de aguas pluviales en zonas urbanas. Las inundaciones son fenómenos recurrentes en nuestro país los cuales provocan año con año grandes pérdidas económicas a la infraestructura y a la agricultura. Pero sobre todo producen graves daños a la población en general (Molina-Aguilar & Gutiérrez-López, 2020). En México, este problema está siendo consolidado al nivel de los estudios y trabajos de ingeniería civil en todas sus disciplinas y en particular en la de

hidráulica. Por lo que, con base en las leyes y reglamentos estatales, en relación con el establecimiento de la Normativa necesaria para evitar que se alteren desfavorablemente las condiciones hidráulicas de una corriente o pongan en peligro la vida de las personas. Así se proponen dos objetivos. (1) Contar con una guía de inspección de cauces y (2) Tener una guía metodológica para el uso y control de cauces naturales, cuerpos de agua y las zonas aledañas sujetas a riesgos de inundación y sedimentación.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El estudio fue realizado en el dren Natural arroyo El Madroño que se encuentra conectado a la presa Santa Catarina. Llega a estar ubicado en el estado de Querétaro entre los poblados de Santa Catarina y Corea, ubicándose en el municipio de Santa Rosa Jáuregui. Este arroyo se encuentra en la cuenca R. Laja con una clave de RH12H, en la sub cuenca R. Apaseo con clave de RH12Hd siendo de tipo exorreica encontrándose en la región hidrológica Lerma-Santiago. La parte del arroyo que fue estudiada fue entre 20°47'34.23" N y 100°27'56.59" O con 20°47'34.2" N y 100°27'40.2" O. En la figura 1 se puede observar el recorrido que se llevó a cabo. Se obtuvieron las características del dren antes mencionado de INEGI 2021 en la tabla 1.

2.2 Información básica

Antes de realizar un recorrido se ejecuta un trabajo preliminar con el motivo de realizar un análisis forense de la manera más efectiva y en el menor periodo de tiempo. En esta sección se busca principalmente informar a las personas acerca de seis aspectos: la vestimenta, el recorrido, recomendaciones sobre visualización, las fotografías generales que se deben tomar y el aseguramiento de las evidencias. Es importante la seguridad de la persona iniciando por la vestimenta, que se propone utilizar anteojos de seguridad, zapato o botín cómodo (comodidad por la distancia), utilizar guantes si es necesario y utilizar casco solamente si el recorrido lo necesita. Durante el recorrido es importantes tener la ruta ya determinada, ubicar los riesgos que podrían tener, el tipo de vehículo necesario para llegar a él y asegurar el equipo necesario para realizar anotación y tomas fotográficas (bitácora y cámara fotográfica). En las recomendaciones sobre visualización es

necesario identificar los sitios de riesgo que la ruta podría llegar a tener y además definirlos. Se necesitarán tomar fotografías panorámicas del lugar además de específicas, se ocupa tomar estas imágenes desde cada ángulo para poder observar en oficina que daños podría ocasionar una estructura al dren, además de tener las coordenadas de cada una de ellas de la misma forma, ayudaría también la

utilización de drones para la captura de imágenes. Para terminar, se necesita el aseguramiento de las evidencias. El encargado debe asegurarse que todas las pruebas estén en el libro de registro y que la memoria de la cámara o UAV esté en buen estado para que pueda mostrarse en la oficina después de la excursión.

Tabla 1 Características del arroyo Madroño

Característica	Observación
Subprovincia	Llanuras y Sierras de Querétaro a Hidalgo
Topoforma	Lomerío
Geología	Sedimentaria
Tipo de clima	Seco semicálido con lluvia de verano
Suelo dominante	Vertisol
Superficie de vegetación	Agricultura



Figura 1. Recorrido del Dren de la Presa Santa Catarina

2.3 Ingeniería básica

En el trabajo preliminar también se tiene que observar la caracterización del sitio en general, no solo el recorrido que se va a realizar. Es necesario delimitar la zona de la cuenca para obtener sus características físicas, el ambiente, la geomorfología, la topografía, las zonas sujetas a efectos de remanso, las estructuras físicas y el corredor fluvial del dren que se va a estudiar.

2.4 Inspección

Al encontrarse en el recorrido se debe observar siete factores importantes: Identificación de corrientes, regímenes de flujo aguas abajo y aguas arriba, perturbaciones e impacto ecológico, manejo de

cauces, obras transversales, áreas inundables y aguas abajo. Se deberán identificar las corrientes que se encuentran conectados al dren que se estudiara, esto con el propósito de saber de dónde viene el caudal y de la misma forma cuanto caudal podría llegar al dren principal. Al identificar las corrientes, con el estudio previo de la topografía podremos identificar si el flujo es aguas abajo o arriba, a lo cual los sedimentos serán otra guía de apoyo. Durante el recorrido podremos observar perturbaciones que pueda llegar a tener el dren o bien el ambiente en ese lugar, algunos ejemplos pueden ser la calidad del agua que transporta, la estabilidad que llega a tener el cauce, el tamaño de sedimento que llega a transportar o bien algunos otros indicadores bióticos. Posteriormente al

obtener los informes anteriores podremos observar como el cauce mismo se ha ido modificando con el tiempo y con ello realizar las mediciones para compararlas con años anteriores y poder estudiar el motivo de los meandros. De la misma forma se tienen que monitorear las estructuras que se encuentren en el dren, esto con el motivo de no tener fallas y que el caudal continúe de una manera natural y favorable para la sociedad. En estos casos se tendrá que estudiar su cimentación, sus muros de contención y la fragilidad de la estructura. Se necesitará de la misma forma identificar áreas inundables que se encuentren en la zona. Es necesario conocer estos lugares para poder tener planes de emergencia por si llegara a ocurrir un desastre, además con ello el gobierno podría tomar medidas para ejecutar soluciones antes de lo inesperado. Finalizado el recorrido se toman medidas necesarias según el estado que se encuentre cada dren estudiado, estos podrían ser: recubrir de vegetación para la estabilización, la construcción de bordos o bien la identificación de tanques para el aprovechamiento del agua entre otros.

3. Resultados

Se realizó un estudio previo a la visita, para conocer las características físicas de la microcuenca en la que se encontraba el dren. Con ello se conocía que la intensidad en la microcuenca conforme a las isoyetas de la SCT con un periodo de retorno de 25 años (de acuerdo a las recomendaciones de CONAGUA para obras de drenaje pluvial) y un tiempo de concentración aproximado de 20 minutos es de 77 mm/h. Utilizando el programa Google Earth se obtienen datos sobre su geomorfología y como el caudal se transportaba hasta llegar a la presa Santa Catarina como se puede apreciar en la figura 2. El recorrido tuvo una distancia de 0.82 km y una pérdida de elevación de 9 m, teniendo como una elevación máxima de 2013 msnm y descendió hasta 2004 msnm. Se inició el recorrido en las coordenadas 20°47'34.23" N, 100°27'56.59" O ya que se estudió principalmente el meandro que se encuentra en esa zona hasta la presa Santa Catarina. Durante el recorrido se pudo identificar que en cada parte del dren natural va cambiando de forma por la cual el radio hidráulico también va cambiando como se esperaría normalmente.

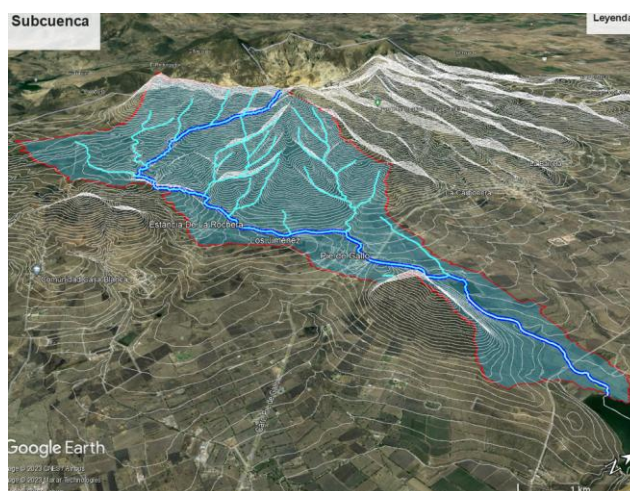


Figura 2. Geomorfología del dren de la presa Santa Catarina

La inspección se llevó a cabo de aguas arriba a aguas abajo, esto es con el motivo de poder observar los sedimentos que se han transportado desde los puntos más altos de la microcuenca, durante el recorrido no había transporte de agua ya que fue antes de las temporadas de lluvia. La topografía de esta microcuenca llega a ser variada, teniendo así varias corrientes de agua transportando varios sedimentos de diferentes lugares hasta el final del dren para terminar en la presa Santa Catarina, siendo uno de los

motivos por los cuales hay derrumbes en el dren. En la mayor parte del recorrido se identificó que la base del dren estaba conformada principalmente de material rocoso. En el recorrido de la misma forma llegó a encontrarse una laguna vacía, esto con el motivo de las bajas precipitaciones a través de los años. Esta parte del recorrido era donde se esperaba que continuara el dren, pero se pudo visualizar que el dren se partió en dos, siendo así que el caudal busca la manera más fácil y rápida de llegar a su punto de

drenaje. Durante el recorrido se pudo observar poca basura que se llega a tirar en el dren, o de la misma manera fueron transportados de otra parte, siendo estos impedimentos para que el agua se transporte a una velocidad estable y de la misma manera llega a reducir el área hidráulica del lugar. Durante el recorrido no se observaron obras de cruce además de donde se empezó el recorrido. Se encuentra una carretera atravesando el cauce principal de la micro cuenca, por lo cual se observó que no se realizó de una manera adecuada en la que apoya la hidrología del lugar. Se busca que la calle se transforme en un puente para que el caudal se transporte de una manera natural y veraz. Durante el recorrido no se llega a observar una urbanización cercana más sin embargo podría llegar a ser afectado la zona de cultivo si llegara una lluvia extrema, aunque es muy poco probable que esto pueda llegar a pasar.

4. CONCLUSIONES

Finalizado el análisis al dren Madroño de la presa Santa Catarina, se lograron observar oportunidades y preocupaciones del dren. Algunas de las oportunidades para apoyarlo son: la limpieza del dren, realizar excavaciones o adecuaciones por ciertos derrumbes que el dren llegó a tener. Las preocupaciones fueron la calidad del agua que llega a transportar el dren a la presa Santa Catarina y el bloqueo en ciertas secciones del dren.

Se realizaron mediciones para observar como cambiaba el meandro a través de los años, con ellos se obtuvo la tabla “Probables variables que afectan un meandro” con mediciones del sistema de información geográfica Google Earth y la visita aplicada.

Tabla 2. Características del cauce

Año	B	A	L	o	Lc	Gc	r
2004	49.5027	47.3927	303.3695	32	125.1271	133.403	57.9808
2011	48.8614	46.8364	307.5011	35	103.8728	169.8842	39.916
2014	43.8253	41.9778	298.7971	18	127.9626	136.2066	79.7042
2021	42.0126	40.3601	306.9454	18	126.4979	130.5997	84.7785
2022	47.7962	46.3737	305.8409	19	125.1252	143.8707	68.6558
2023	59.45	57.75	328.12	26	132.62	163.44	55.38
Año	lambda	b1	b2	MI	b	r/b	
2004	247.1348	1.31	2.91	219.2003	2.11	27.4790521	
2011	235.5096	1.375	2.675	183.694	2.025	19.7116049	
2014	231.7143	1.09	2.605	184.234	1.8475	43.1416509	
2021	234.5732	1.145	2.16	194.1387	1.6525	51.303177	
2022	236.2054	1.02	1.825	205.3932	1.4225	48.2641828	
2023	257.558	1.095	2.305	215.2545	1.7	32.5764706	

- B=Ancho del río
- A= Amplitud del meandro
- L=Longitud del río
- o= Angulo de desviación de un río
- Lc=Longitud de curvatura
- Gc= Grado de curvatura
- R= Radio de curvatura
- Lambda
- b1= Mitad del espesor del inicio del río
- b2= Mitad del espesor del final del río
- MI=Longitud de onda del meandro
- b=Espesor del meandro
- r/b= amplitud de la curva

En la figura 3 se muestran cómo los 2 principales componentes llegan a explicar el 81.65% de la varianza de las características morfológicas del arroyo el madroño. En la figura 3 resultan mostrar 3 grupos según el comportamiento del arroyo. En el

primer grupo se encuentran principalmente los espesores del río y del meandro incluyendo también el ángulo de desviación que llega a tener (b1, b2, b, o). En el segundo grupo se encuentran la amplitud de la curva, el radio de la curvatura y la longitud de la curva (Lc, r/b, R). Y finalmente se encuentran en el

tercer grupo el grado de curvatura, el ancho del río, la amplitud del meandro, la longitud del río y la longitud de onda del meandro (Gc, B, A, L, MI). Este análisis fue utilizado principalmente para poder priorizar las características del río. De esta manera se

pueda apreciar de la figura 3 que el grado de curvatura, el radio de curvatura y el ángulo de la desviación de un río, son aquellas características que llegan a ser las que más influencia tienen.

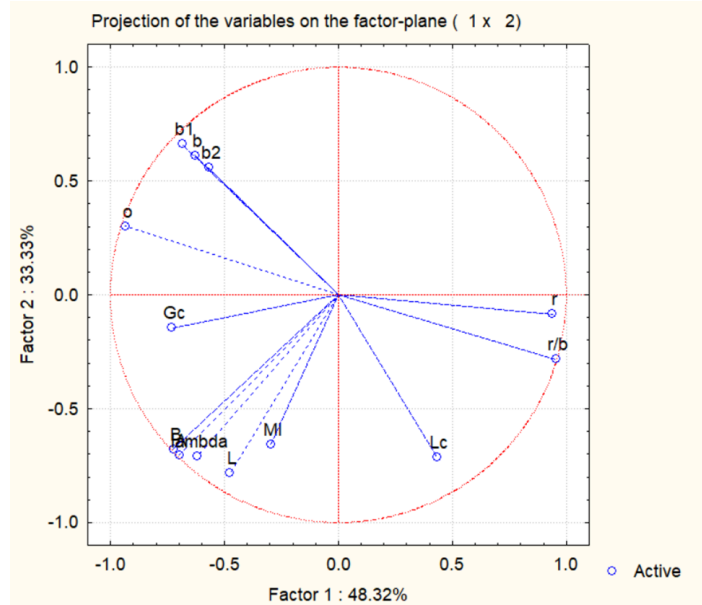


Figura 3. Análisis empírico de funciones ortogonales

Para finalizar la visita se siguió el siguiente *checklist* para abarcar cada una de las áreas de la inspección:

Concepto	Tarea	Check	Obs.
Visita de Campo			
Aseguramiento delimitación y acordonamiento del sitio	Tener el seguro médico, delimitar el área antes de realizarse la inspección, acordonar el sitio en donde se va a trabajar.		
Vestimenta	Asegurar de llevar la ropa adecuada, esto es protección de los ojos, pies, manos, cabeza, cuerpo		
Recorrido			
Tipo de recorrido y ruta	Realizar recorrido alrededor de toda la infraestructura hidráulica. De esta manera se encontrarán los lugares donde se encuentren estancamientos, daños en la infraestructura y conocer la flora, fauna y altitud del lugar. Llevar cámara fotográfica y GPS, este con el motivo de tener un registro de la ubicación de donde se tomaron las fotos.		

Riesgos durante el recorrido	Durante el recorrido, marcar los lugares en donde la persona que hace la inspección puede llegar a tener riesgos durante el recorrido. Se señalarán los lugares con GPS, para evitar estas zonas que pueden ser peligrosas para la salud del trabajador. Además, señalar en qué lugares de la infraestructura hidráulica, puede llegar a tener riesgos de desbordamiento o bien ruptura de la misma estructura para dar solución a estos problemas.		
Ubicación, geo-posicionamiento	Utilizando un GPS, registrar en donde se empezó la inspección y donde termino. Además de llevar un registro de geo-posicionamiento a cada 5, 10 o 20 metros dependiendo del tamaño de la infraestructura hidráulica.		
Vehículos utilizados	Registrar los vehículos que se utilizaran en la inspección. Lo que es desde el transporte del lugar, durante la inspección, y la terminación de la misma.		
Registro y bitácora	Una bitácora será fundamental durante el recorrido, esto con el propósito de anotar las observaciones con su geolocalización y la hora en la que se toma.		
Dirección de recorrido	Al conocer el lugar donde se hará la inspección, seleccionar una ruta la cual se vea más viable para poder observar la infraestructura y alrededores del lugar, de la misma manera si hay cambios en la ruta, registrarlos para tener conocimiento de donde se estuvo durante la inspección.		
Recomendaciones sobre visualización			
Identificación de sitios en peligro, definir la situación de riesgo	Durante la inspección, se anotará en la bitácora los lugares donde pueden llegar a ser peligrosos para la infraestructura o el ser humano. Anotar los lugares que llegan a tener bajo oxígeno, lugares con baches o resbaladizos, lugares con flora y fauna que ponen en peligro la vida humana. De la misma forma señalar en qué lugares de la infraestructura llegan a tener muchas rupturas o que puedan ser lugares donde no se alcance a inspeccionar. En estos casos, utilizar drones para poder alcanzar dichos casos.		
Fotografías	En la toma de las fotografías, se necesitar revisar contenido fotográfico antes de la inspección, de la misma forma revisar el funcionamiento del equipo. Proteger la infraestructura hidráulica del lugar y del alrededor. Buscar fotografiar escombros o materiales que pueden afectar la infraestructura hidráulica o el ambiente que lo rodea. Tomar fotografías generales del lugar, lugares donde se pueda presentar un desbordamiento o donde se encuentran rupturas o grietas. Toma de fotografías de lugares de estancamiento por escombros o materiales. Toma de fotografías de cómo avanza el agua por el cauce en diferentes secciones.		

Aseguramiento de las evidencias	Al terminar la inspección, revisar que la cámara o dron que se utilizó, cuente con las imágenes tomadas anteriormente, revisar que se cuente con la geo-localización del lugar y la fecha y hora en la que se tomó. De no ser así, se necesitara tomar de nuevo las fotografías.		
Caracterización del sitio			
Características físicas de la cuenca	Calcular la precipitación media anual y evaporación del sitio de estudio. Calcular además durante el recorrido el área de la cuenca, la pendiente y longitud del canal principal. Señalar la vegetación que se encuentra sobre la infraestructura y alrededores.		
Geomorfología	Calcular el área de la cuenca, la velocidad y el caudal de la misma. Calcular la longitud del tramo principal el perímetro de la cuenca. Calcular la diferencia de cotas entre curvas de nivel, el número de cruces de las curvas de nivel con líneas de igual coordenada este y norte. Obtener la curva hipsométrica del cauce. Calcular el índice de Norton calculando el número de canales de orden. Obtener el área y longitud de cada uno de los tramos.		
Características del cauce	Calcular el ancho estable, caudal máximo, factor de fondo de cauce (granulometría) y el factor de orilla de cauce, esto con el fin de determinar los parámetros básicos de un cauce estable.		
Estructura física	Crear listado de las piezas que conforme la infraestructura hidráulica, de la misma forma un listado de las estructuras que se encuentren cerca del cauce		
Corredor fluvial	Medir y dibujar el corredor fluvial, siendo este compuesto por los cauces fluviales, planicies de inundación y las zonas de transición.		
Zonas sujetas a afectos de remanso	Señalar los lugares que llegan a tener los efectos de remanso		
Topografía	Llevar una muestra, o conocer la granulometría del lugar, con un GPS o usando un SIG reconocer la altura y altitud de toda la cuenca, además de obtener las curvas del nivel y la pendiente de la cuenca.		
Inspección			
Identificación de corrientes	Utilizando las cartas topográficas y con un programa de SIG, identificar las corrientes de la cuenca. De la misma forma señalar el cauce o infraestructura hidráulica a estudiar.		

Regímenes aguas abajo y aguas arriba	Identificar con la topografía ya estudiada cuales zonas son aguas abajo y aguas arriba.		
Perturbaciones e impacto ecológico			
Hidrodinámica	Calcular el movimiento de los fluidos con el número de Reynolds para saber qué tipo de flujo es.		
Calidad del agua	Tomar una muestra de agua, para poder observar las características químicas, físicas y biológicas		
Transporte de sedimentos	Revisar qué clase de sedimentos se encuentren en el cauce o infraestructura hidráulica.		
Estabilidad de cauces	Obtener los cambios de pendientes del río o cauce, de la misma forma la geometría, esto para comprender como cambia su ruta o forma.		
Indicadores bióticos	Inspeccionar si hay indicadores bióticos en el cauce, canal o río.		
Manejo de cauces			
Ubicación	Utilizar un SIG para identificar el cauce a estudiar. Usar la organización mexicana para obtener la información geográfica		
Componentes funcionales	Al obtener la topografía, estudiar la precipitación de la zona. Se necesitara el periodo de tiempo en que se presentan las precipitaciones, y obtener las curvas de intensidad duración frecuencia.		
Reglas de operación	Respetar las normativas y leyes del país		
Efectos de embalses	Señalar en la inspección si se tienen embalses o no además de identificarlo, si es así, identificar cuáles son las consecuencias que este provoca.		
Situación y obras transversales			
Obras cruce	Señalar las obras de cruce en la infraestructura hidráulica que se va a estudiar. Esta es de gran importancia ya que es donde pueden ocurrir mayormente algunas catástrofes, siendo así zonas de riesgo para la estructura.		
Identificación de tipo de estructura	Señalar que tipo de estructura es la obra a estudiar, el material con el que fue hecho y señalar cuantas aperturas o grietas llega a tener la estructura en un rango constante.		

Tareas de restauración	Al identificar las grietas, ejecutar las recomendaciones y proyectos de restauración.		
Cuantificación de la fragilidad y restauración de un puente	Se realizarán notas de la infraestructura para poder cuantificar de manera visual. Estas notas tienen que ser por efectos hidrológicos, estructurales, ambientales entre otros. Con ello dar las recomendaciones necesarias.		
Tipos de cimentación	Identificar si la cimentación es superficial o subterránea. Indicar las grietas que están en la cimentación, tomar fotos de las mismas grietas y de la misma cimentación. Se tiene que identificar el lugar, orientación factor climático y el origen de ello.		
Tipos de pilas	Identificar si se encuentran pilas de agua, tomar fotos si hay agrietamiento o bien si está o no en uso.		
Tipos de estribos y muros de contención	Identificar los estribos que se encuentra en la infraestructura, con ello tomar fotos para observar en qué estado se encuentra. Se tendrá que mencionar el estado general del muro, patología como fisuras y humedades y sus condiciones de seguridad.		
Áreas inundables			
Los cambios de uso de suelo	Identificar el uso del suelo de la infraestructura hidráulica y sus alrededores		
Agua abajo			
Recubrir de vegetación del suelo y asegurar estabilización	Identificar lugares donde se pueda recubrir con vegetación para minimizar los sedimentos en la infraestructura hidráulica.		
Pavimento impermeable	Identificar el tipo de pavimento del cauce a estudiar y recomendar el uso de pavimento impermeable para aumentar su tiempo de concentración y reducir la evaporación		
Identificación de tanques para el aprovechamiento del agua de lluvia	Identificar tanques cerca del cauce o infraestructura hidráulica, de la misma forma la situación en la que se encuentra y dar recomendaciones para mejorar el tanque o cambiarlo.		
Identificación de zonas para uso ecológico, pecuario, alojamiento temporal, forestal	Usando el SIG dividir cada espacio por su uso, y con ello dar recomendaciones para construir camellones para no tener inundaciones.		

<p>Funcionamiento de bordos perimetrales y marginales</p>	<p>Identificar los bordos que llegan a tener, de la misma forma el estado en que se encuentra, si no lo hay, dar recomendaciones para la colocación de ellas.</p>		
---	---	--	--

Finalizada la visita y la investigación del dren siguiendo el *checklist* propuesto se obtuvieron las siguientes recomendaciones para el dren:

- Limpieza en el dren por sedimentos naturales y basura.
- Retiro de material sedimentario.
- Retirar infraestructura innecesaria que se encuentra invadiendo el dren.
- Realizar estudios de calidad de agua de la presa Santa Catarina.
- Realizar levantamientos topográficos en el lugar para obtener información más precisa.
- Ejecutar excavaciones en derrumbes que se encuentran en el dren.
- Instalación
- Mover flora que se encuentra en el dren que invaden el área hidráulica del mismo.
- Presentar planes para PODER conservar las obras que sean necesaria para la estabilidad de cauces y el control de las avenidas. En este caso se buscaría ejecutar una obra de cruce en la avenida, para que el caudal pase de manera rápida y sencilla.
- Observar a través de los años como funciona el área de inundación que se encuentra cerca del dren.
- No economizar en la estructura hidráulica del dren.
- Inspeccionar la obra antes y después de la temporada de lluvias.
- Ejecutar mejoras rápidas (si se necesita), esto con el motivo de ser un plan preventivo para ejecutar las mejoras necesarias de una manera óptima.
- No modificar el dren o su infraestructura sin la autorización de la CONAGUA.
- Ejecutar un estudio hidrológico completo de la microcuenca.
- Construir muros de contención para no afectar la agricultura que se encuentra cerca.

REFERENCIAS

- Aguilar, J. P. M., & López, A. G. (2020). Daños económicos y sociales por huracanes e inundaciones en México: periodo de 2010 a 2015. *Aqua-LAC*, 12(2), 67-77.
- Ben-Zvi, A. (2009). Rainfall intensity–duration–frequency relationships derived from large partial duration series. *Journal of Hydrology*, 367(1-2), 104-114.
- Bouvier, C., Cisneros, L. V., Domínguez, R., Laborde, J., & Lebel, T. (2003). Generating rainfall fields using principal components (PC) decomposition of the covariance matrix: a case study in Mexico City. *Journal of Hydrology*, 278(1-4), 107-120. [https://doi.org/10.1016/s0022-1694\(03\)00122-7](https://doi.org/10.1016/s0022-1694(03)00122-7)
- Cunderlik, J. M., & Ouarda, T. B. M. J. (2006). Regional flood-duration–frequency modeling in the changing environment. *Journal of Hydrology*, 318(1-4), 276-291. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.020>
- Mignot, E., Paquier, A., & Haider, S. (2006). Modeling floods in a dense urban area using 2D shallow water equations. *Journal of Hydrology*, 327(1-2), 186-199. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.11.026>

- Segond, M. L., Wheeler, H. S., & Onof, C. (2007). The significance of spatial rainfall representation for flood runoff estimation: A numerical evaluation based on the Lee catchment, UK. *Journal of Hydrology*, 347(1-2), 116-131.
- Semadeni-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G., & Gustafsson, L. (2008). The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: combined sewer system. *Journal of Hydrology*, 350(1-2), 100-113. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.05.028>

Las denominaciones que se emplean en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figuran no suponen por parte de la UNESCO la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de la UNESCO, y no comprometen a la Organización.



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license