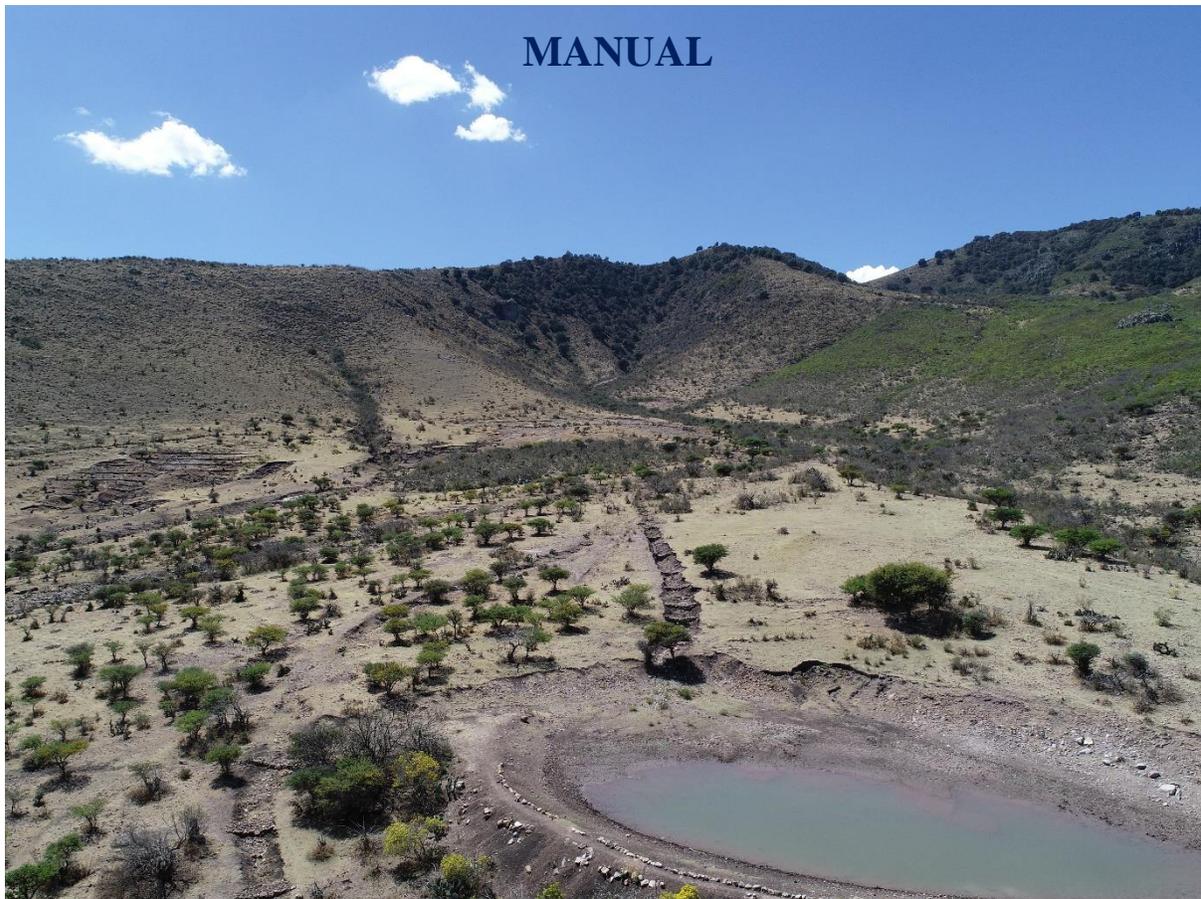


Evaluación de obras de rehabilitación de suelos, mediante monitoreos con Dron, en la microcuenca Doña Juana, Subcuenca Tábula Picachos.



P R E S E N T A

Ing. Saúl Esteban García Lona

Edición:

Marzo del 2019

Fotografía:

Saúl Esteban García Lona

Arturo García Lozano

Henry Miller

Autores:

Saúl Esteban García Lona

Arturo García Lozano

Asociaciones:

Fundación Gonzalo Río Arronte

El maíz más pequeño A.C.

Cuerpos de Conservación Guanajuato A.C.



R Í O A R R O N T E
FUNDACIÓN



CUERPOS DE
CONSERVACIÓN
GUANAJUATO, A.C.



INTRODUCCIÓN.	5
CAPÍTULO 1. Obras e inversiones	5
1.1 Inversión en tecnología.	5
1.2 Teledetección.	6
1.3 Fotogrametría (Vuelos y procesamiento de imágenes)	9
1.4 Digitalización.	11
1.5 Mapa base.	13
CAPÍTULO 2. Zona de estudio.	13
2.1 Localización Geográfica.	13
2.2 Comunidades dentro del Área de Estudio.	13
2.3 Mapa 2.	14
CAPÍTULO 3. Vías y medios de comunicación	15
3.1 Sistema Carretero.	15
3.2 Mapa 3.	16
CAPÍTULO 4. Topografía	16
4.1. Orografía.	16
4.2 Modelo de elevación y curvas de nivel.	16
4.3 Mapa 4.	17
CAPÍTULO 5. Características de la Microcuenca.	18
5.1 Microcuenca.	18
5.2 Drenaje.	18
5.3 Generalidades del Arroyo Principal de la Microcuenca.	18
5.4 Principales Embalses.	19
5.5 Estimación de escurrimientos superficiales.	21
CAPÍTULO 6. Vegetación y uso de suelo.	28
6.1 Vegetación.	28
6.2 Suelo.	28
6.3 Agricultura.	29
6.4 Ganadería.	30
6.5 Erosión.	31
6.6 Mapa 6.	31
CAPITULO 7. Obras de rehabilitación de suelos y conservación de agua.	32
7.1 Priorización del polígono a intervenir.	32
7.2 Obras de Rehabilitación.	33
7.2.1 Presas filtrantes de piedra acomodada.	34
7.2.2 Terrazas a curva de nivel.	35
7.3 Impacto de las acciones de rehabilitación.	35



7.4 Ubicación de obras. Mapa 7.	37
CAPÍTULO 8. Otros productos y conclusiones.	38
8.1 Fotografías aéreas para reconocimiento del paisaje.	38
8.2 Videos aéreos.	39
8.3 Conclusión	40
GLOSARIO.	41
BIBLIOGRAFIA.	43



INTRODUCCIÓN.

Este manual denominado “Evaluación de obras de rehabilitación de suelos, mediante monitoreos con Dron, en la microcuenca Doña Juana, Subcuenca Támbula Picachos”, en el municipio de San Miguel de Allende, Gto., muestra una serie de metodologías realizadas en campo y con Dron, para la elaboración de cartografía digital, toma de fotografías y videos aéreos, que nos pueden servir para el proceso en acciones de rehabilitación y conservación de una cuenca o de un área en especial que se quiera intervenir para su equilibrado aprovechamiento de recursos naturales. Este manual contiene información del ordenamiento territorial y ambiental de la Microcuenca, y los métodos que se utilizaron para proyectar las obras de rehabilitación en suelos erosionados por parte del control técnico de la asociación Cuerpos de Conservación Guanajuato A.C. y la gestión de recursos por parte de la asociación El Maíz más Pequeño A.C.

Durante los meses de enero a marzo del 2019 se fueron desarrollando vuelos fotogramétricos para la generación de cartografía digital, delimitando asentamientos humanos, vías de comunicación, escurrimientos, usos de suelo y vegetación que, con ayuda de ortofotos, modelos de elevación, capas vectoriales y cartas topográficas de diferentes fuentes, fue posible generar mejores mapas y orientar decisiones traducidas en acciones para beneficio del medio ambiente y de los habitantes de la comunidad.

Este manual tiene el objetivo de mostrar la importancia del uso de la tecnología en temas aplicados a la conservación del medio ambiente y dar ideas de cómo aplicar estas herramientas para facilitar un trabajo de campo más eficaz.

CAPÍTULO 1. Obras e inversiones

Las obras de rehabilitación que se llevan a cabo en una microcuenca en donde se realizan intervenciones físicas, permiten reestablecer la flora y fauna nativa de la zona y generan beneficios para el suelo y el agua que son a la vez necesarios para el mantenimiento de una población dependiente de sus recursos naturales.

En términos geográficos, estas acciones son importantes que queden plasmadas en productos cartográficos y que generen preguntas y toma de decisiones importantes para el adecuado equilibrio entre los seres humanos y la naturaleza.

1.1 Inversión en tecnología.

A pesar de los considerables avances tecnológicos que ha desarrollado el ser humano, sigue patente la necesidad de conciliar el desarrollo humano y tecnológico con la protección del medio ambiente y la Biodiversidad. Es urgente promover una conciencia ambiental por el hecho de que todos compartimos el mismo planeta.



Entonces, se vuelve necesario crear nuevos mecanismos y herramientas que nos faciliten el trabajo para mejorar nuestro entorno, lo cual se traduce en el progreso de los instrumentos orientados a la conservación del medio ambiente.

Los drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV), son una innovación que nos permite facilitar nuestras actividades en campo y que nos ahorra tiempo para determinar acciones acertadas en el desarrollo de nuestros objetivos. Los drones ofrecen como resultados topográficos nubes de puntos con exactitud en coordenadas x, y, z, ortofotos, cartografía vectorial y fotografías del terreno.

A partir de estos vuelos, podremos realizar levantamientos de información georreferenciada y realizar mediciones exactas, utilizando otros aparatos de medición en acompañamiento con los vuelos, como el uso de teodolitos electrónicos, estación total o GPS de doble frecuencia y obtener mediciones centimétricas.

Tras la operación de procesamiento de ortofotos se puede obtener en primera instancia el MDT (Modelo Digital del Terreno) georreferenciado en formato digital, para que a continuación sea estudiado con un software compatible y con ello los usuarios puedan sacarle el mayor partido posible al modelo producido de forma rápida, precisa y en cualquier momento consultar longitudes, perímetros, áreas o alturas.

1.2 Teledetección.

Se designa a las técnicas para interpretar las imágenes que provienen de los sensores remotos (teledetectores), de los cuales intervienen técnicas y experiencias dentro de la ciencia en la cual son aplicadas las imágenes obtenidas mediante plataformas como los satélites artificiales, aviones tripulados o drones, o simplemente tomadas desde el terreno.

La teledetección puede ser analógica o por métodos automáticos con el uso de softwares. Dándoles validez, la experiencia y la solidez teórica de quién las aplica.

Los teledetectores se clasifican en dos clases:

- Pasivos. (sin energía propia) Ejemplo: cámaras con sensores.
- Activos. (con energía propia) Ejemplo: radares convencionales.

En los Pasivos las partes que los componen varían en cuanto a su plataforma y al tipo de cámara, pero sus características se relacionan en:

Las cámaras aéreas, estas cámaras se componen de:

- a) Distancia principal de la cámara.
- b) Cuerpo de la cámara.
- c) Porta película.
- d) Diafragma y arriba de este se encuentra el obturador.
- e) Objetivo (lente de la cámara).
- f) Registros auxiliares.



g) Montaje de la cámara.

El dron utilizado en estos procesos fue el Phantom 4 Pro, V.2.0. con las siguientes especificaciones:

PHANTOM 4 PRO V2.0



Sensor CMOS de 1" y 20 MP Tiempo de vuelo 30 min Detección de obstáculos en cinco direcciones

CÁMARA

Sensor	1" CMOS Píxeles efectivos: 20M
Objetivo	FOV 84° 8.8 mm / 24 mm (formato equivalente a 35 mm) f/2.8 - f/11, enfoque a 1 m - ∞
Rango ISO	Vídeo: 100 - 3200 (Automático) 100 - 6400 (Manual) Foto: 100 - 3200 (Automático) 100- 12800 (Manual)
Velocidad obturador mecánico	8 - 1/2000 s
Velocidad obturador electrónico	8 - 1/8000 s
Tamaño de imagen	Proporción de imagen 3:2: 5472 x 3648 Proporción de imagen 4:3: 4864 x 3648 Proporción de imagen 16:9: 5472 x 3078
Tamaño de imagen de vídeo	4096×2160(4096×2160 24/25/30/48/50p) 3840×2160(3840×2160 24/25/30/48/50/60p) 2720×1530(2720×1530 24/25/30/48/50/60p) 1920×1080(1920×1080 24/25/30/48/50/60/120p) 1280×720(1280×720 24/25/30/48/50/60/120p)
Modos de fotografía	Disparo único Disparo en ráfaga: 3/5/7/10/14 fotogramas Exposición Automática en Horquillado (AEB): 3/5 horquilla de exposición a 0.7EV bias Intervalo: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s



Modos de Vídeo	<p>H.265</p> <p>C4K:4096×2160 24/25/30p @100Mbps</p> <p>4K:3840×2160 24/25/30p @100Mbps</p> <p>2.7K:2720×1530 24/25/30p @65Mbps</p> <p>2.7K:2720×1530 48/50/60p @80Mbps</p> <p>FHD:1920×1080 24/25/30p @50Mbps</p> <p>FHD:1920×1080 48/50/60p @65Mbps</p> <p>FHD:1920×1080 120p @100Mbps</p> <p>HD:1280×720 24/25/30p @25Mbps</p> <p>HD:1280×720 48/50/60p @35Mbps</p> <p>HD:1280×720 120p @60Mbps</p> <p>H.264</p> <p>C4K:4096×2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps</p> <p>4K:3840×2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps</p> <p>2.7K:2720×1530 24/25/30p @80Mbps</p> <p>2.7K:2720×1530 48/50/60p @100Mbps</p> <p>FHD:1920×1080 24/25/30p @60Mbps</p> <p>FHD:1920×1080 48/50/60 @80Mbps</p> <p>FHD:1920×1080 120p @100Mbps</p> <p>HD:1280×720 24/25/30p @30Mbps</p> <p>HD:1280×720 48/50/60p @45Mbps</p> <p>HD:1280×720 120p @80Mbps</p>
Tasa de Bits Máx. de	100 Mbps
Almacenamiento de Vídeo	
Sistemas de archivo compatibles	FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)
Foto	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Vídeo	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)
Tarjetas SD compatibles	<p>Micro SD™</p> <p>Capacidad Máx.: 128 GB</p> <p>Velocidad de escritura ≥15MB/s, necesaria clase 10 o UHS-1</p>
Rango de temperatura de funcionamiento	de 0 a 40 °C (de 32 a 104 °F)



AERONAVE

Peso (batería y hélices incluidas)	1 388 g
Tamaño diagonal (sin hélices)	350 mm
Velocidad de ascenso Max.	Modo-S: 6 m/s (19.7 ft/s) Modo-P: 5 m/s (16.4 ft/s)
Velocidad de descenso Max.	Modo-S: 4 m/s (13.1 ft/s) modo-P: 3 m/s (9.8 ft/s)
Velocidad Max.	72 km/h (45 mph) (modo-S) 58 km/h (36 mph) (modo-A) 50 km/h (31 mph) (modo-P)
Ángulo de inclinación máx.	42° (Modo-S) 35° (Modo-A) 25° (Modo-P)
Velocidad angular máx.	250°/s (Modo-S) 150°/s (Modo-A)
Altura máx. de servicio sobre el nivel del mar	6 000 m (19 685 pies)
Resistencia al viento Max.	10 m/s
Tiempo de vuelo máx.	30 minutos aprox.
Rango de temperatura de funcionamiento	De 0 a 40 °C (de 32 a 104 °F)
Sistemas de posicionamiento por satélite	GPS / GLONASS
Rango de precisión de vuelo estacionario	Vertical: ±0,1 m (con posicionamiento visual) ±0,5 m (con posicionamiento por GPS) Horizontal: ±0,3 m (con posicionamiento visual) ±1,5 m (con posicionamiento por GPS)

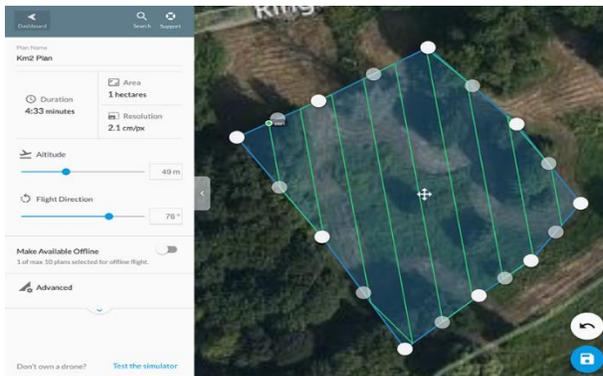
1.3 Fotogrametría (Vuelos y procesamiento de imágenes)

Para realizar los vuelos aéreos, es necesaria una capacitación para su manejo y del procesamiento de datos para entender que método utilizaremos en campo, practicar en zonas abiertas para reducir el riesgo de dañar nuestro aparato o infraestructura ajena y reducir accidentes contra personas en el área.

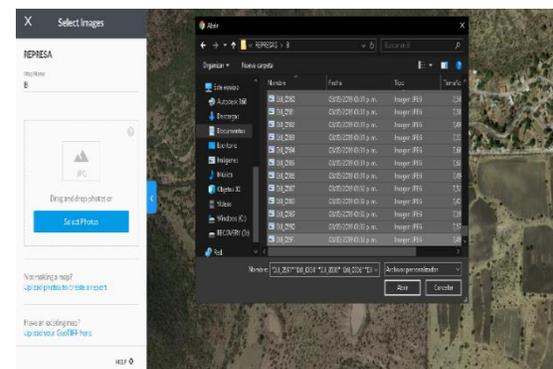
Es necesario conocer nuestra zona de estudio, así como todos sus factores que intervienen, como son el relieve, estado del clima y del tiempo, fauna, infraestructura, permisos, reglamentos y normas reguladas por las autoridades correspondientes. Todo lo necesario para realizar un levantamiento de información sin problemas técnicos.



Los programas para llevar a cabo nuestro plan de vuelo son descargables en nuestro móvil, los cuales se descargan gratuitamente utilizando una cuenta de correo electrónico. Este plan de vuelo se realiza desde una computadora o bien desde el móvil que va conectado al control remoto del Dron y generar el plan de vuelo de manera automática o bien de manera manual. Estas aplicaciones toman en cuenta el solapamiento adecuado, la velocidad del dron, altura, tiempo de vuelo, área de vuelo, duración de la batería, resolución y la orientación de la cámara, que muchas veces si lo generamos de manera manual, a no ser que se tenga experiencia o conocimientos en teledetección, pueden generarse errores al momento de procesar las imágenes.



Plan de vuelo desde la PC.



Procesamiento de Imágenes en PC.

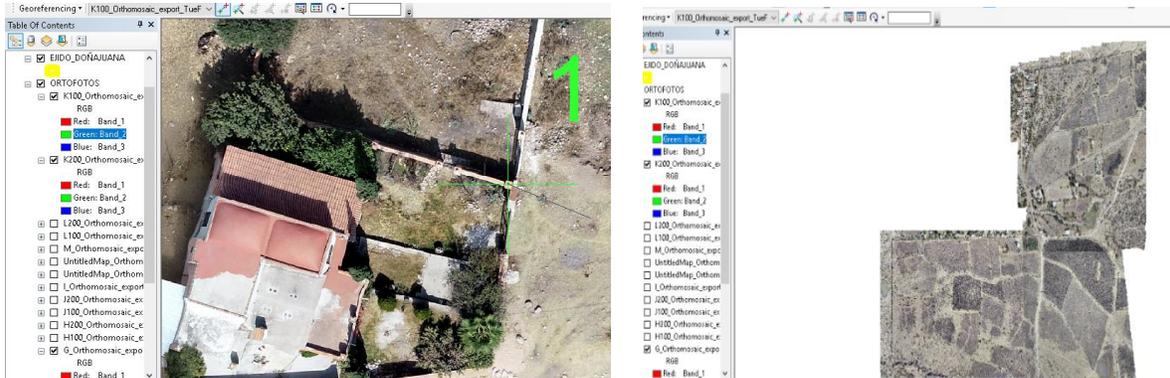


Ubicación de cada foto, para generar posteriormente el Ortomosaico en PC.

Estos procesamientos de imágenes pueden ser generados desde softwares libres en la web, o bien, generarse con softwares instalados en nuestras computadoras, para realizar los procedimientos de manera manual y con métodos precisos, obteniendo ortomosaicos, nubes de puntos, Modelos de Elevación, que pueden ser exportados a otros softwares SIG (Sistemas de Información Geográfica) y obtener información en formato RASTER o de tipo Vectorial.



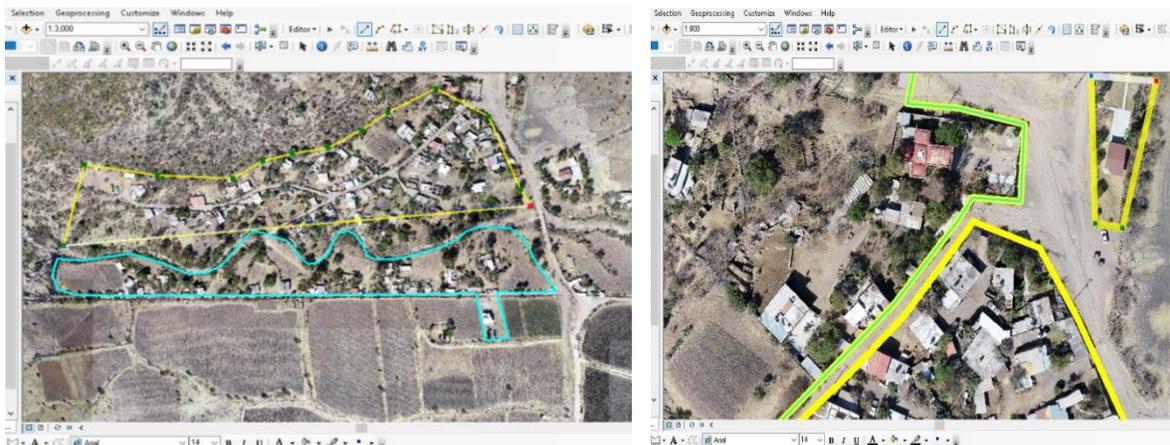
Cada imagen tomada es georreferenciada por medio de la ubicación GPS que trae el Dron y por ende la alineación precisa de los ortomosaicos es más fácil de realizar en un software mencionado o en un programa SIG.



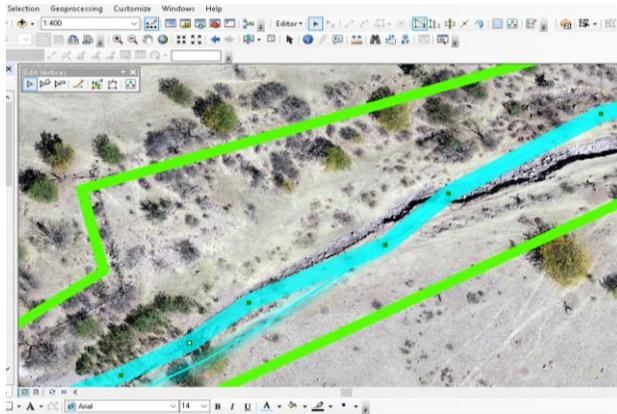
Georreferenciación de Ortomosaicos en un programa SIG.

1.4 Digitalización.

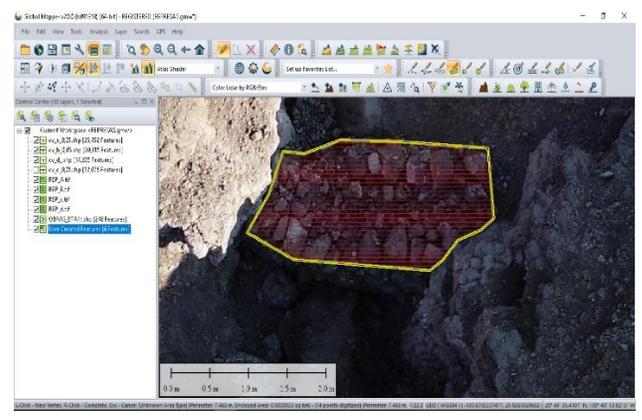
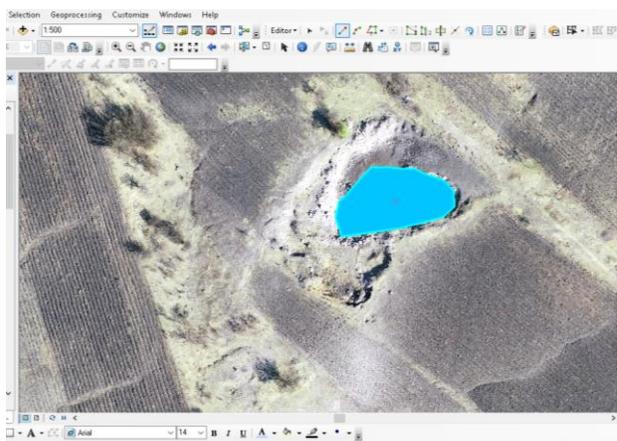
La digitalización se realiza mediante un Sistema de Información Geográfica que consiste en la creación de vectores como líneas, rectángulos, círculos, puntos o polígonos sobre una base conocida, ya sea sobre una imagen satelital, un mapa, ortofoto, etc., y así representar a un objeto o un área determinada con datos espaciales e información que nos son útiles para generar diferentes productos cartográficos.



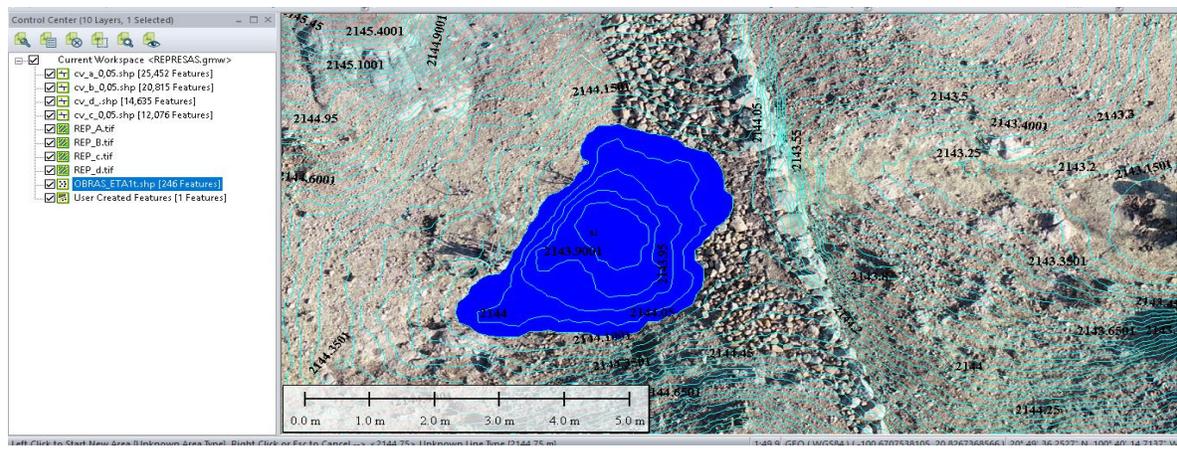
Digitalización de calles en un asentamiento humano.



Digitalización de arroyos y caminos.



Digitalización de cuerpos de agua y obras de conservación de suelos.



Digitalización de áreas de captación en represas de piedra acomodada, mediante las curvas de nivel obtenidas del Modelo de Terreno.



1.5 Mapa base.



Producto cartográfico en donde se muestra la alineación de los ortomosaicos georeferenciados dentro del Ejido de Doña Juana.

CAPÍTULO 2. Zona de estudio

2.1 Localización Geográfica

La microcuenca Doña Juana en San Miguel de Allende, Guanajuato, México; se localiza entre las coordenadas geográficas 20°49'47.95" latitud Norte, 100°41'45.58" longitud Oeste y 20°50'21.73" latitud Norte, 100°38'40.03" longitud Oeste, se ubica en la parte sur de la subcuenca Támara-Picachos, su parteaguas en la porción más alta, constituido por el cerro "El Picacho".

2.2 Comunidades dentro del Área de Estudio.

Con una superficie total de 676.44 hectáreas, el Ejido Doña Juana tiene 20.945 hectáreas destinadas a una superficie con viviendas y 293.545 hectáreas para parcelas con cultivos de temporal, significando el 3.09 % de vivienda y el 43.40 % de la superficie con cultivos, por lo tanto, dados estos valores, tenemos un porcentaje del 53.51 %, destinado a las tierras de uso común, en donde las actividades de reforestación y rehabilitación de suelos son primordiales para estas zonas.

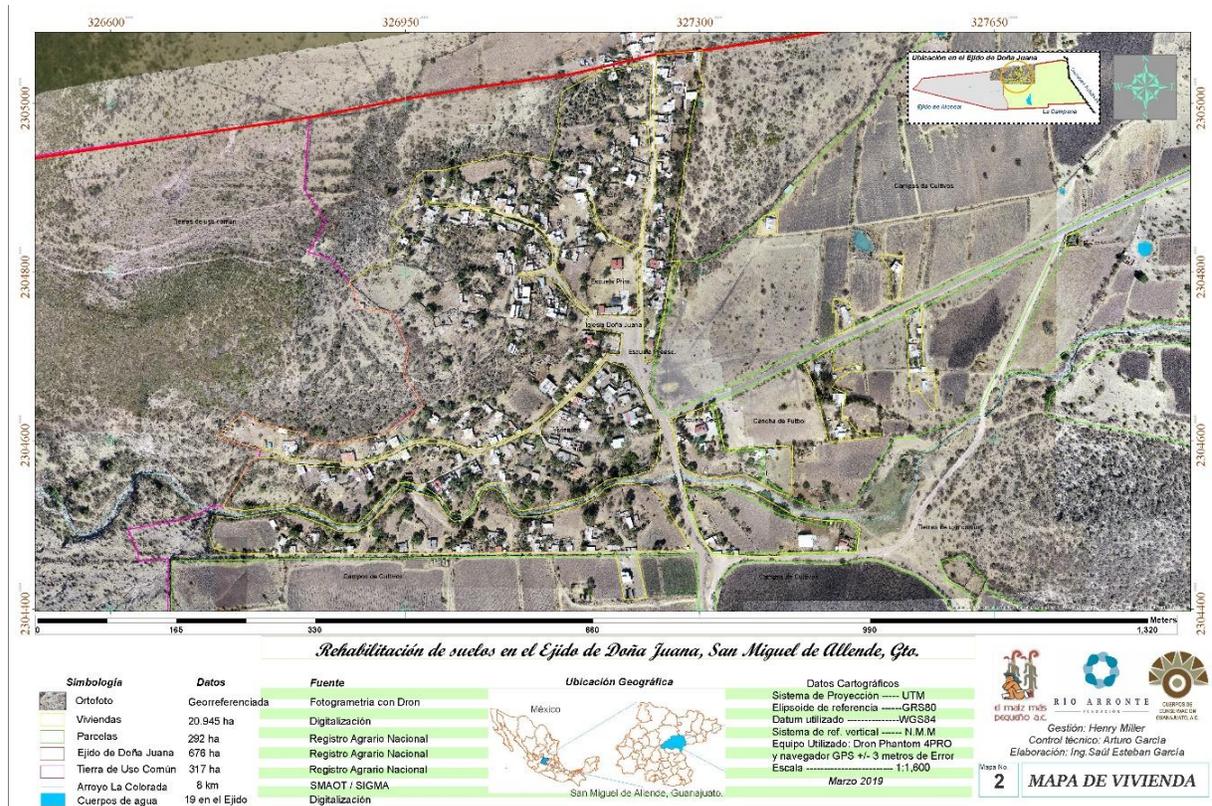


Para las acciones de monitoreo con vuelos y tomas de video con Dron, es necesario acudir con las autoridades locales para obtener su autorización, así como llevar a cabo reuniones informativas con los ejidatarios y personas de la localidad. Para el Ejido y la comunidad de Doña Juana, Salvador Rayas es el Comisariado Ejidal y Ma. Petra López la Delegada Municipal. Ambos comparten la función de representar a los habitantes ante las instancias de los tres órdenes de gobierno.



Reconocimiento del terreno. Etapa de Rehabilitación de suelos.

2.3 Mapa 2.



Mapa de viviendas en el Ejido de Doña Juana.

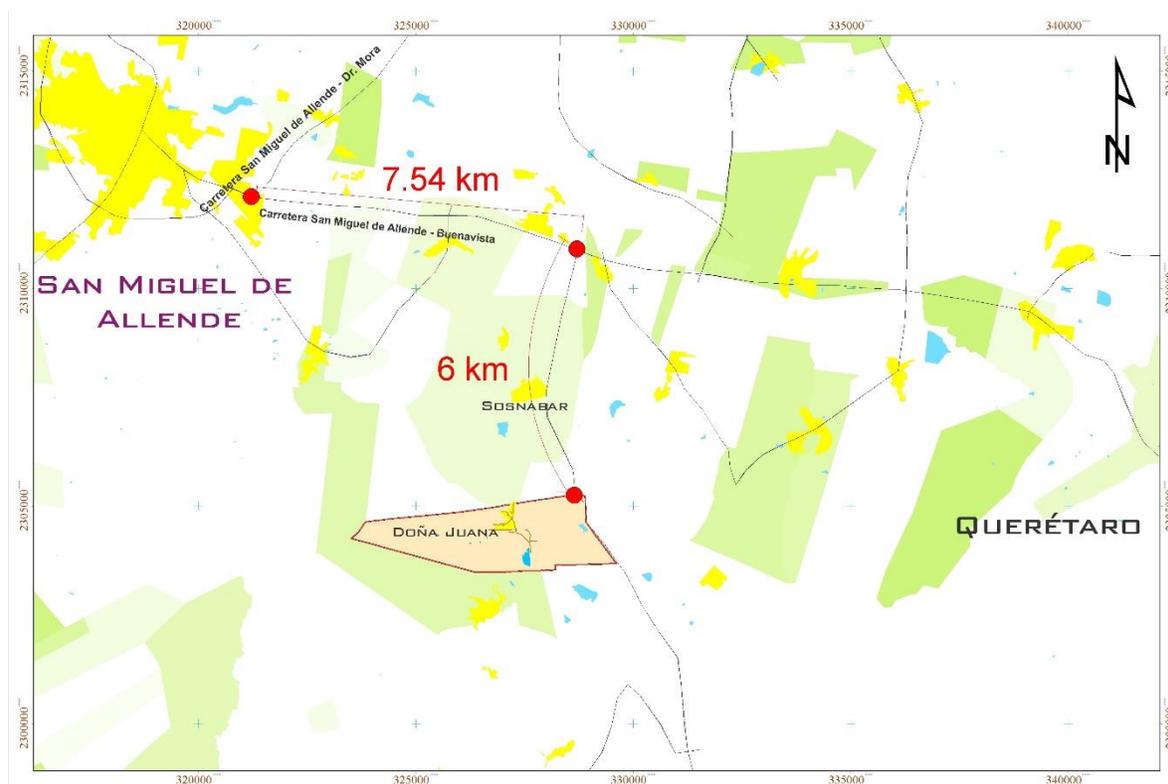


CAPÍTULO 3. Vías y medios de comunicación

3.1 Sistema Carretero.



Para llegar al Ejido de Doña Juana, es necesario recorrer la carretera federal No. 111, que une a San Miguel de Allende con Buenavista Querétaro, y transitar 7.54 km desde la glorieta que retorna a Dr. Mora, Querétaro, o San Miguel, hacia la desviación que dirige al Ejido, recorriendo otros 6 km de carretera asfaltada. Esta importante vía de comunicación conecta varias comunidades con la cabecera municipal la cual, por cierto, requiere mantenimiento de baches y falta señalización.



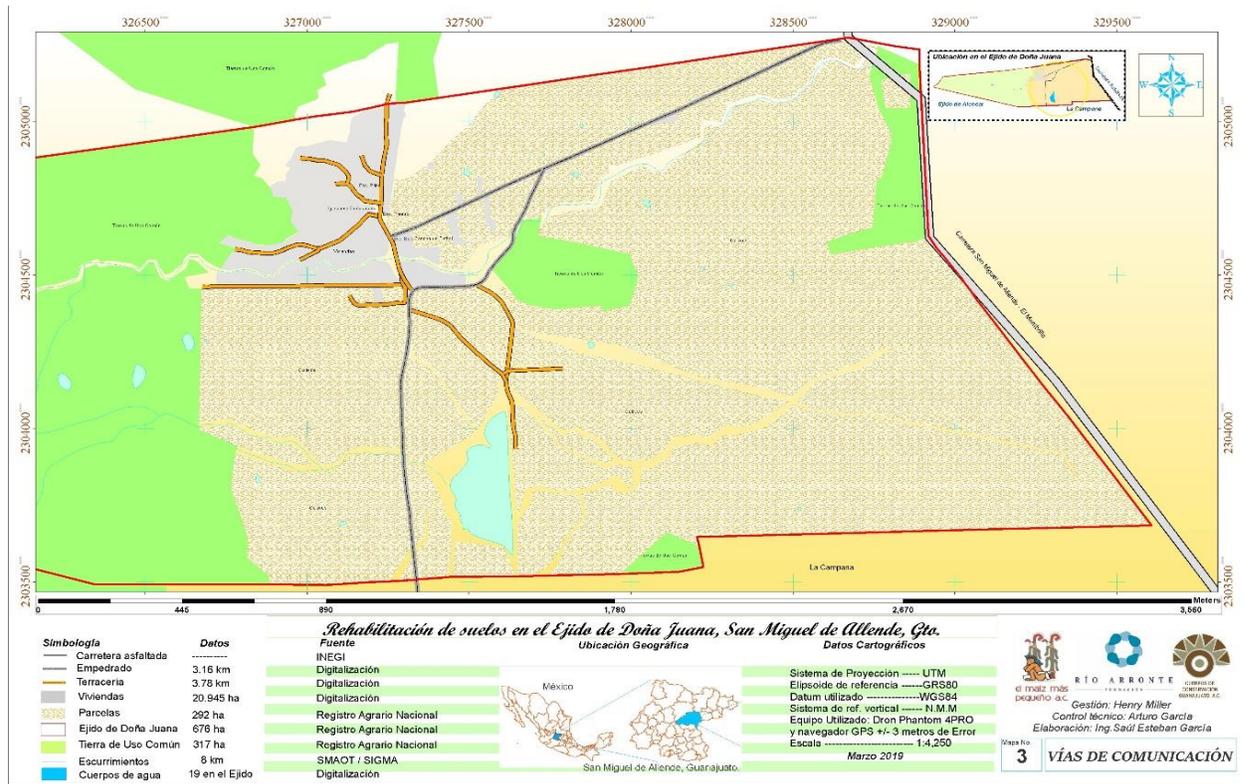
Mapa de carreteras para llegar al Ejido de Doña Juana desde San Miguel de Allende.

El Ejido Doña Juana cuenta con una importante red de caminos de terracería y brechas, poco transitables, que conectan sus viviendas con sus parcelas, junto con



caminos empedrados que aseguran la comunicación entre las principales comunidades y ejidos colindantes.

3.2 Mapa 3.



Mapa de vías de comunicación internas del Ejido de Doña Juana.

CAPÍTULO 4. Topografía

4.1. Orografía.

Los terrenos más bajos de la Microcuenca se encuentran a 2000 m.s.n.m., predios que son utilizados para la agricultura de temporal. En las zonas altas que pueden llegar hasta los 2,700 m.s.n.m. se encuentran relictos de vegetación de lo que fueron bosques de encinos, que fueron aprovechados por la extracción de leña y donde aún prevalece el sobrepastoreo.

4.2 Modelo de elevación y curvas de nivel.

La representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, permitió caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.



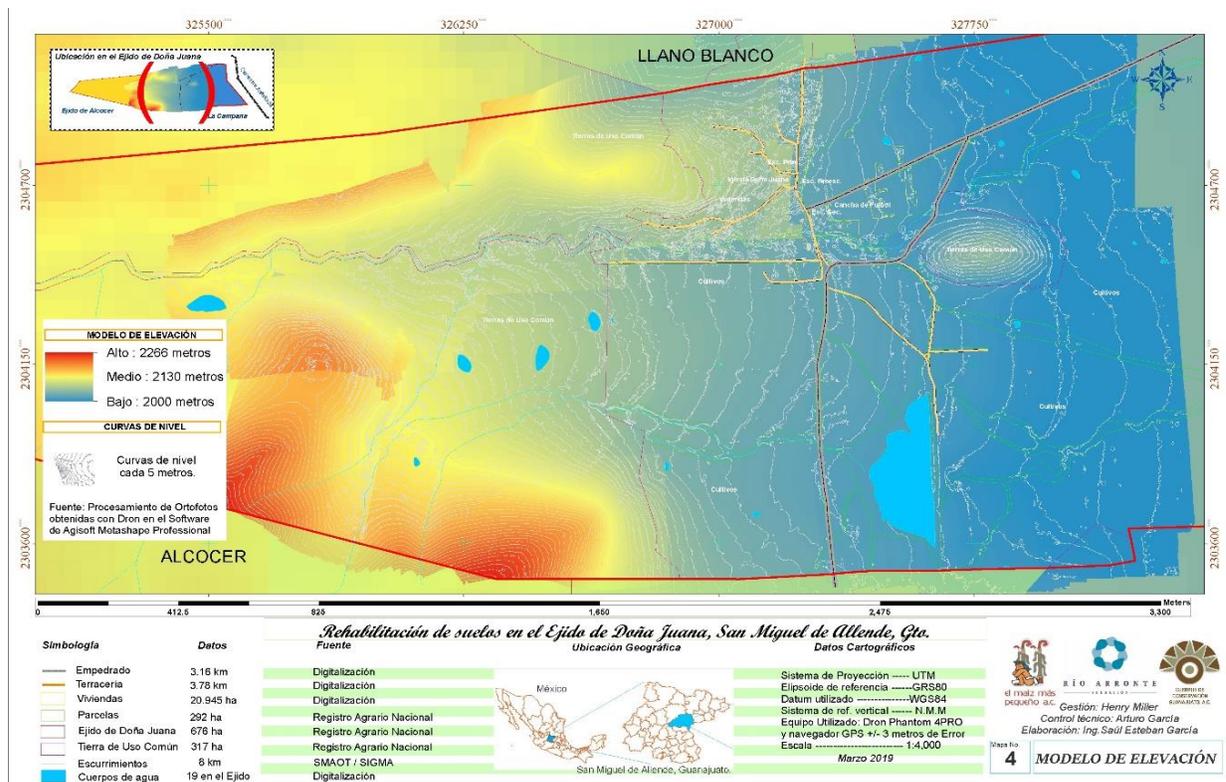
Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.

El sistema de representación de curvas de nivel consistió en generarlas de manera automática con el software de Agisoft Metashape Professional después de haber generado el MDE. Para efectos de cálculo de volúmenes, se clasificaron las curvas de nivel a cada 5 centímetros, y poder así identificar las áreas de captación de las presas filtrantes construidas. La proyección de todas estas curvas de nivel sobre un plano común (el mapa) da lugar a la representación buscada.

Las curvas de nivel verifican las siguientes premisas de manera general:

- Las curvas de nivel no se cortan ni se cruzan (sólo ocurre esto cuando queremos representar una cueva o un saliente de roca).
- Las curvas de nivel se acumulan en las laderas más abruptas y están más espaciadas en las laderas más suaves.

4.3 Mapa 4.



Mapa del Modelo de Elevación y curvas de nivel generadas mediante la fotogrametría.



CAPÍTULO 5. Características de la Microcuenca.

5.1 Microcuenca.

La microcuenca en el Ejido Doña Juana está conformada con la aportación de tres escurrimientos secundarios que son tributarios al arroyo La Colorada.

Dentro de la red hidrológica se tienen bordos de los cuales no se tiene registro de nombramiento y que son utilizados principalmente como abrevaderos para diferentes especies de ganado. Fuente: Dirección de Protección Civil Municipal de San Miguel de Allende. OFICIO NO. ATGR-H000058/PCA/0145/01/2019

5.2 Drenaje.

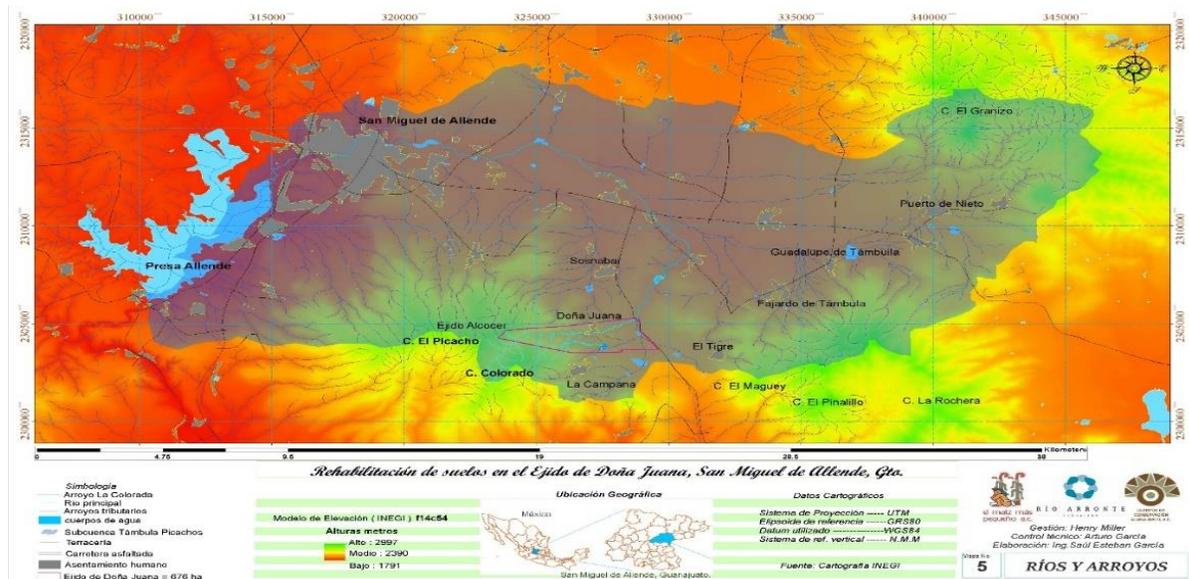
Los patrones de drenaje en esta microcuenca dependen de varios factores determinados en campo y gabinete, los cuales son:

- Baja cobertura vegetal
- Pendientes moderadas
- Laderas bajas
- Rocas con resistencia uniforme
- Mediana pluviosidad



Por lo tanto, la Microcuenca tiene un drenaje dendrítico, teniendo todos sus escurrimientos en todas las direcciones, en cursos pequeños, cortos e irregulares, cubriendo áreas amplias que llegan al arroyo principal.

5.3 Generalidades del Arroyo Principal de la Microcuenca.



Mapa 5. Muestra la dirección que toma el arroyo La Colorada hasta desembocar en la Presa de San Miguel de Allende.



El arroyo La Colorada es muy importante en la microcuenca y para el municipio de San Miguel de Allende, Guanajuato. Por lo que es necesario continuar con las acciones de rehabilitación de suelos para evitar la erosión y retener los escurrimientos hacia el arroyo principal, deteniendo inundaciones y pérdida de suelos.

Algunos arroyos secundarios que son tributarios al arroyo la Colorada, recorren las cárcavas que fueron originadas por la construcción de bordos y que han producido parte de la erosión que se observa en el área, considerando también, el sobrepastoreo y tala inmoderada de árboles de encino, huizaches, ocotillos, y entre otros, ocurrida en épocas pasadas.

El mantener el agua limpia de los arroyos es muy importante para la flora y fauna nativa, considerando que los cuerpos de agua que se encuentran en el Ejido son de gran valor, no solo para los habitantes y sus ganados, sino también para las especies que emigran de grandes distancias para descansar o alimentarse.

Los habitantes de Doña Juana requieren mantener sus animales domésticos y sus cultivos de maíz, frijol, garbanzo y calabaza con agua limpia, por lo que es necesario para ellos mejorar su infraestructura para captar y almacenar el agua pluvial.

5.4 Principales Embalses.

Son 19 cuerpos de agua en el ejido, identificados por medio de los vuelos fotogramétricos con Dron, de los cuales los más pequeños tienen una superficie de 30 m², y los bordos que se tienen en la parte media y alta, varían, desde los 4,200 m² a los 5,000 m², siendo el más grande localizado en la mitad del Ejido que cuenta con 9 ha.

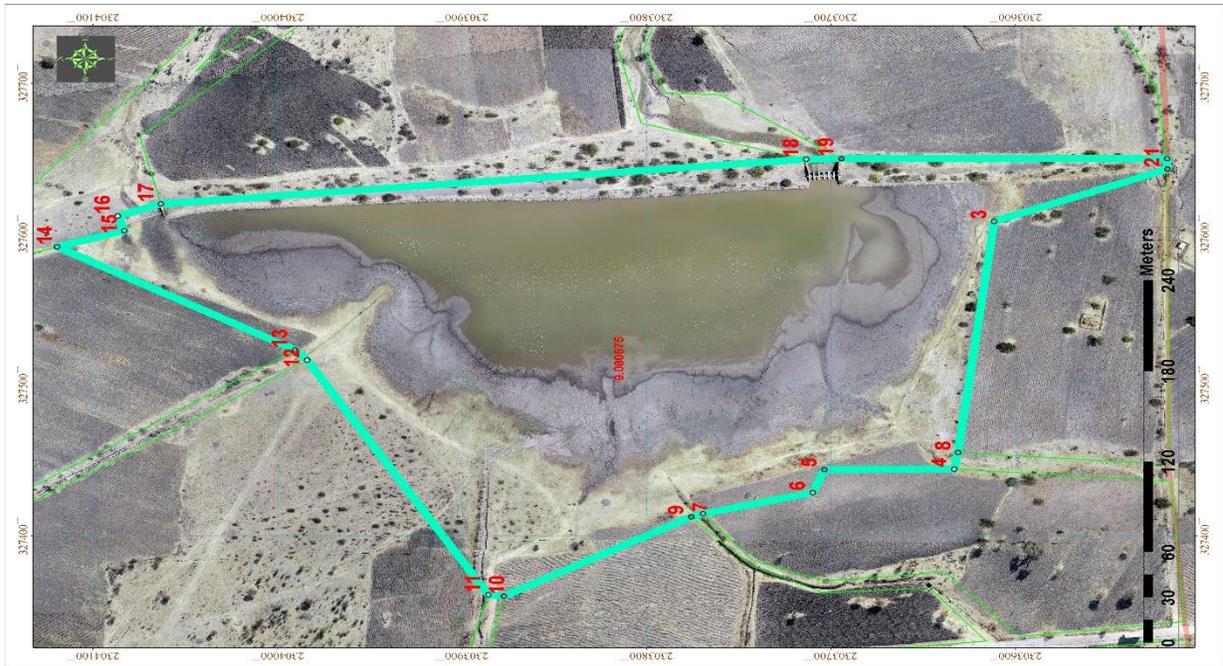


Para efectos de aprovechar los ortomosaicos de los vuelos con Dron, los representantes del Ejido propusieron ubicar las áreas y perímetros que delimitan sus bordos, por lo que se replantearon los vértices del perímetro del bordo más grande del Ejido, utilizando Estación Total. El bordo se beneficiará con las obras de rehabilitación de suelos construidas aguas arriba de la microcuenca.



El efecto de la rehabilitación con las obras construidas es que se retendrá por mayor tiempo los azolves y el agua se infiltrará, por lo que la tarea de desazolvar este bordo en particular le conviene a la mayoría de los habitantes que tienen ganado.

Las coordenadas del bordo se obtuvieron mediante el plano topográfico del Registro Agrario Nacional, otorgado por el Comisariado Ejidal Salvador Rayas y posteriormente se ubicaron en la capa vectorial del Ejido, descargada de la página Web del Registro Agrario Nacional para corroborar coordenadas.



Ortofoto con Capa shape del perímetro del bordo de 9 ha.



Apoyo de miembros del Ejido en el replanteo de puntos con Estación Total del bordo grande.



5.5 Estimación de escurrimientos superficiales.

A continuación, se presenta una estimación de los escurrimientos pluviales superficiales que ocurren en el área de uso común del ejido Doña Juana, sub-microcuenca del mismo nombre, que forma parte de la Sub-Cuenca Tábula Picachos en el municipio de San Miguel de Allende, Guanajuato.

En la planeación de trabajos de conservación de suelos, la rehabilitación de cárcavas y la construcción de obras de captación de agua, es necesario conocer el escurrimiento superficial.

Aspectos para estimar:

1. Cantidad de lluvia que escurre superficialmente.
2. Factores que inciden sobre el escurrimiento.
3. Estimar los periodos de retorno y la probabilidad de una lluvia determinada.

Cálculos para determinar el escurrimiento superficial.

Cálculo de la probabilidad de lluvia.

Precipitación máxima en 24 horas.

$$P = \frac{m \times 100}{n} + 1$$

Datos.

P = probabilidad de la lluvia

m = número de orden de la lluvia

n = número de eventos registrados

Cálculo del periodo de retorno de la precipitación.

Se considera para 5 años de retorno.

$$F = \frac{n+1}{m}$$

Datos.

F = frecuencia o periodo de retorno

n = número total de años de registro

m = número de orden de la lluvia

La siguiente table muestra el registro de precipitación pluvial de 1980 al 2014.



No. Estación	11155
Estación	Corral de Piedras

Año	Precip. (mm) Max. 24hrs.	Año	Precip. (mm) Max. 24hrs. Ordenada	Número de orden (m)	Probabilidad (%)	Periodo de retorno (años)
1980	54	1991	82	1	2.94	35.00
1981	42.9	1982	77.9	2	5.88	17.50
1982	77.9	2007	66	3	8.82	11.67
1983	31.5	2002	65	4	11.76	8.75
1984	48.2	1987	61	5	14.71	7.00
1985	35.6	2012	60	6	17.65	5.83
1986	55.2	1986	55.2	7	20.59	5.00
1987	61	1995	55.1	8	23.53	4.38
1988	29.5	2010	54	9	26.47	3.89
1989	48.3	1980	54	10	29.41	3.50
1990	50	1992	52.2	11	32.35	3.18
1991	82	1990	50	12	35.29	2.92
1992	52.2	1989	48.3	13	38.24	2.69
1995	55.1	1984	48.2	14	41.18	2.50
1996	30.4	1998	45.6	15	44.12	2.33
1997	24	2013	45	16	47.06	2.19
1998	45.6	2003	45	17	50.00	2.06
1999	25.2	2014	43	18	52.94	1.94
2000	37.5	1981	42.9	19	55.88	1.84
2001	28	2008	42	20	58.82	1.75
2002	65	2006	38	21	61.76	1.67
2003	45	2005	38	22	64.71	1.59
2004	35	2000	37.5	23	67.65	1.52
2005	38	2009	37	24	70.59	1.46
2006	38	1985	35.6	25	73.53	1.40
2007	66	2004	35	26	76.47	1.35
2008	42	1983	31.5	27	79.41	1.30
2009	37	1996	30.4	28	82.35	1.25
2010	54	2011	30	29	85.29	1.21
2011	30	1988	29.5	30	88.24	1.17
2012	60	2001	28	31	91.18	1.13
2013	45	1999	25.2	32	94.12	1.09
2014	43	1997	24	33	97.06	1.06

Por lo tanto, 55.2 mm es la cantidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 5 años.



Cálculo del escurrimiento superficial

Parámetros que inciden en el escurrimiento superficial.

Método del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América USDA-SCS.

- *Cálculo del escurrimiento medio.*

$$Q = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P} + 0.8 S$$

Datos:

Q = Escurrimiento medio (mm)

P = Precipitación (mm)

S = Potencial máximo de retención de humedad (mm)

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254$$

Datos:

CN = Curva numérica o número de curva obtenida de tablas (USDA-SCS).

El valor de las curvas numéricas está determinado por los siguientes factores:

A) Suelo.

Cuadro 1.

GRUPO DE SUELOS DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS	
GRUPO DE SUELOS	DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO
A	Suelo con bajo potencial de escurrimiento. Incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla y suelo permeable con grava en el perfil. Infiltración básica 8 - 12 mm / hr
B	Suelos con moderadamente bajo potencial de escurrimiento. Son suelos arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. Este grupo tiene una infiltración mayor que el promedio cuando está húmedo. Ejemplo: suelos migajones, arenosos ligeros y migajones limosos. Infiltración básica 4-8 mm / hr



C	Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene una infiltración menor que la promedio después de saturación. Ejemplo: suelos migajones arcillosos. Infiltración básica 1 - 4 mm / hr
D	Suelos con alto potencial de escurrimiento. Ejemplo, suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Infiltración básica menor a 1 mm / hr

B) Condición Hidrológica o cobertura vegetal.

Cuadro 2.

CLASE DE COBERTURA VEGETAL	
CLASE	% DE COBERTURA
BUENA	> de 75 %
REGULAR	entre 50 y 75%
MALA	< de 50%

Cuadro 3.

VEGETACIÓN	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	
Pastos naturales	En malas condiciones	Dispersos, fuertemente pastoreados, con menos que la mitad del área total con cobertura vegetal.
	En condiciones regulares	Moderadamente pastoreados, con la mitad o las tres cuartas partes del área total con cubierta vegetal.
	En buenas condiciones	Ligeramente pastoreados y con más de las tres cuartas partes del área total con cubierta vegetal.



Áreas boscosas	En malas condiciones	Tienen árboles dispersos y fuertemente pastoreadas, sin crecimiento rastrero.
	En condiciones regulares	Moderadamente pastoreadas y con algo de crecimiento
	En buenas condiciones	Densamente pobladas y sin pastorear
Pastizales mejorados	En buenas condiciones	Pastizales mezclados con leguminosas sujetas a un cuidadoso sistema de manejo de pastoreo
Rotación de praderas	En malas condiciones	Áreas con material disperso, sobre pastoreado
	En buenas condiciones	Praderas densas, moderadamente pastoreadas, bajo una adecuada planeación de rotación de cultivos.
Cultivos	En malas condiciones	Cultivos manejados con base en monocultivos
	En buenas condiciones	Cultivos que forman parte de una buena rotación de cultivos (cultivos de escarda, praderas, cultivos tupidos)

C) Uso del suelo. *Cuadro 4.*

Uso, tratamiento y condición hidrológica del suelo.						
Uso del suelo	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	Curvas numéricas			
			A	B	C	D
<i>Suelo en descanso</i>	Surcos rectos		77	86	91	94
<i>Cultivos de escarda</i>	Surcos rectos	Mala	71	81	88	91
	Surcos rectos	Buena	67	78	85	89
	Curva a nivel	Mala	70	79	84	88
	Curva a nivel	Buena	95	75	82	86
	Terraza y curva a nivel	Mala	66	74	80	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	62	71	78	81



Cultivos tupidos	Surcos rectos	Mala	65	76	84	88
	Surcos rectos	Buena	63	75	83	87
	Curva a nivel	Mala	63	74	82	85
	Curva a nivel	Buena	61	73	81	84
	Terraza y curva a nivel	Mala	61	72	79	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hilera o forraje en rotación	Surcos rectos	Mala	66	77	85	85
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curva a nivel	Mala	64	75	83	85
	Curva a nivel	Buena	55	60	78	83
	Terraza y curva a nivel	Mala	63	73	80	83
	Terraza y curva a nivel	Buena	51	67	76	80
Pastizales	Sin tratamiento mecánico	Mala	68	79	86	99
	Sin tratamiento mecánico	Regular	49	69	79	84
	Sin tratamiento mecánico	Buena	39	61	74	80
	Curva a nivel	Mala	47	67	81	88
	Curva a nivel	Regular	25	59	75	83
	Curva a nivel	Buena	20	35	70	79
Pasto de corte		Buena	30	58	71	78
Bosque		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Camino de tierra		Buena	72	82	87	89
Caminos pavimentados		Buena	90	90	90	90

Conociendo el valor de la curva numérica, se procede a calcular:

$$S = \frac{25,400}{86} - 254 = 41.35$$

$$Q = \frac{(55.2 - 0.2(41.35))^2}{55.2} + 0.8(41.35) = 34.78 \text{ mm}$$

Con estas condiciones de vegetación y de suelo, de los 55.2 mm de lluvia escurrirá una lámina de 34.78 mm. Este valor de escurrimiento es el que se considera para las acciones de obras y rehabilitación de suelos.



- *Cálculo del volumen total escurrido.*

$$Q = \frac{Q_{\text{medio}} \times \text{área} \times 10,000 \text{ m}^2}{1000}$$

Datos.

Q = Volumen total escurrido (m³)

Q medio = Escurrimiento medio (mm)

Área = Etapa 1 (ha)

Se sabe que el área de rehabilitación tiene **42.53 ha** y un escurrimiento medio de **34.78 mm**.



Área de rehabilitación.

Por lo que tenemos un volumen total de escurrimiento en el área de:

$$Q_t \text{ área} = \frac{34.78 \text{ mm} \times 42.53 \text{ ha} \times 10,000 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Q_t \text{ área} = 14,791.934 \text{ m}^3 / 24\text{hrs}$$

Fuente: *Gerencia de Suelos. Manual de Obras y Prácticas (Comisión Nacional Forestal) 4ta. Edición.*



CAPÍTULO 6. Vegetación y uso de suelo.

6.1 Vegetación.

Dentro del área de estudio, la vegetación se compone principalmente por un relicto de bosque de encino (*Quercus spp.*) en la parte alta de los cerros que forman el parteaguas suroeste y oeste, con vestigios de bosque tropical caducifolio en su parte media y matorral *xerófilo-crassicaule* en la parte media y baja de la sub-microcuenca, principalmente en el norte, centro y este. Aunque se encuentra muy fragmentado, aún se encuentran especies arbóreas en los arroyos del área de estudio que corresponden a bosque ribereño.

La fragmentación de la cubierta ha provocado un paisaje de vegetación sucesional compuesta por matorrales: “Comunidades vegetales dominadas por arbustos de altura inferior a los cuatro metros, propias de climas secos con lluvias escasas y zonas frágiles que favorecen la desertificación” (Biodiversidad Mexicana, CONABIO).



Panorámica de la microcuenca Doña Juana.

6.2 Suelo.

El suelo predominante en el área de estudio corresponde a **Regosol**. Del griego *reghos*: manto, cobija o capa de material suelto que cubre a la roca. Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. En México constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%). Muchas veces están asociados con Litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad. (INEGI. Guía para la interpretación de cartografía edafología).

En el sitio, los suelos presentan alta pedregosidad superficial y subsuelo con material aluvial de diferentes tamaños que van desde arenas y gravas hasta rocas de 30-40 cm de diámetro. Más profundo se presentan tepetates y rocas. Esta combinación de materiales es fácilmente degradable cuando se elimina la cobertura



vegetal o se abren los suelos como en el caso de la construcción de canales de llamada en los bordos de abrevadero existentes en el área.



Perfil del suelo tipo Regosol.

6.3 Agricultura.

La agricultura de temporal en Doña Juana es la tercera actividad productiva más importante seguida de la ganadería extensiva y del empleo en la cabecera municipal y ciudades circunvecinas, a la cual dedican poco más de 293 hectáreas de terreno que representa el 43.4 por ciento del territorio ejidal.

Los cultivos básicos son el maíz y el frijol, seguidos de calabaza y garbanzo (cultivo de invierno). Algunos ejidatarios están retomando la propagación y cultivo de maguey (*Agave salmiana*, *A. americana*) como alternativa productiva. En los traspatios se pueden encontrar frutales como aguacate criollo, algunos cítricos, granada y otras especies frutales en forma marginal.



Ejemplo de campo agrícola de temporal predominante en Doña Juana.

6.4 Ganadería.

La presencia de pastos atrae fuertemente a los ejidatarios para realizar el pastoreo extensivo con vacas, cabras, borregos y equinos. En el proceso de rehabilitación de suelos, se recomienda conocer el número de cabezas de cada ganado para identificar la carga animal a la que está sometido el terreno, calcular cuantas unidades soporta y qué medidas de manejo son posibles y aceptadas por los propietarios y ejidos. Esto favorecerá también la implementación de las acciones de rehabilitación y rehabilitación de suelos y agua que sean implementadas más adelante. Sin manejo adecuado del ganado es muy difícil obtener resultados satisfactorios en la rehabilitación ambiental de las microcuencas.



Ramoneo intensivo del huizachal por ganado caprino.



6.5 Erosión.

Las características morfológicas de la microcuenca y el tipo de suelo presente, junto con el pastoreo extensivo al que es sometido con un número de cabezas superior al que puede soportar, que es compactado por el pisoteo de los diferentes tipos de ganado (ovinos, caprinos, equinos y vacunos), provocan erosión de la capa superficial del suelo, disminuyendo el crecimiento de pastos y arbustos.

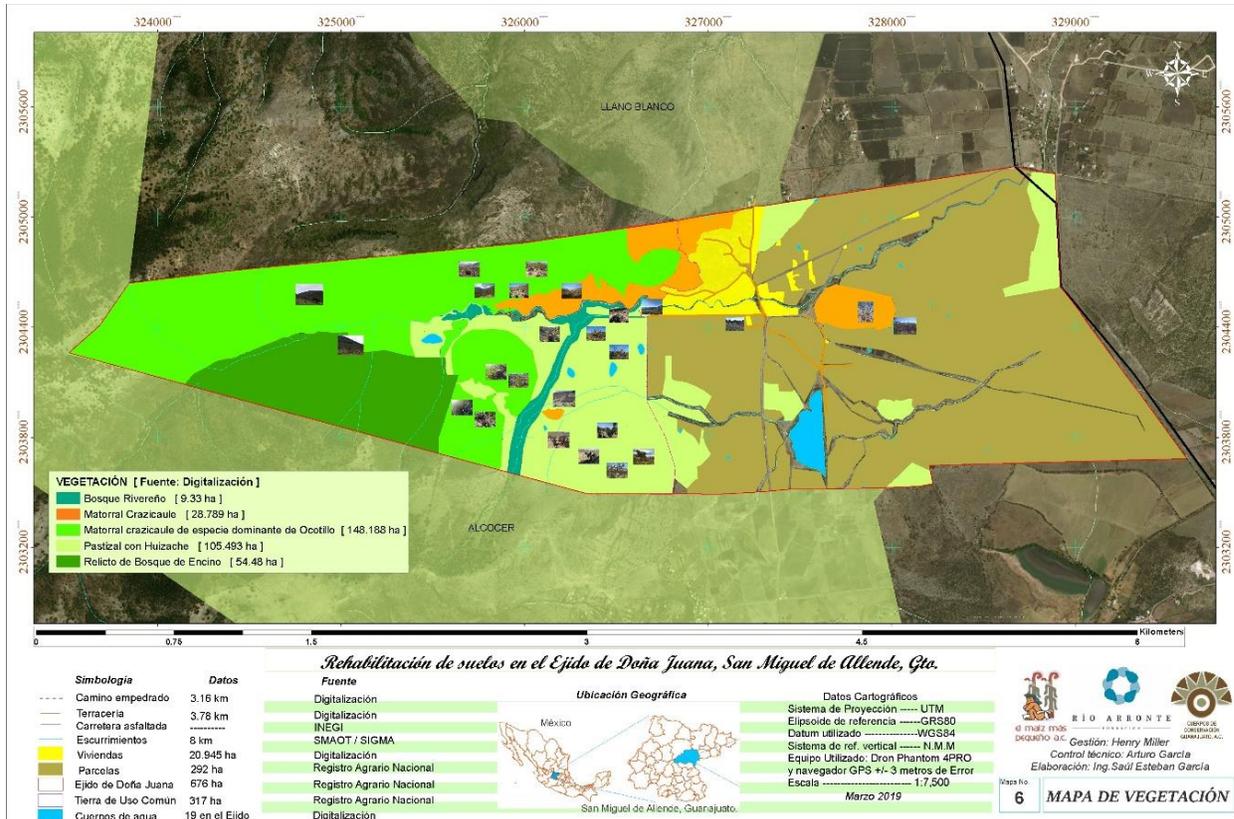
El proceso de erosión se incentiva con la fragmentación de la cobertura vegetal, necesaria para disminuir el impacto de la lluvia, el agrietamiento del suelo en época de estío y las obras o canales de llamada que se abrieron años atrás para comunicar los bordos para abrevadero, éstos últimos convertidos en cárcavas.



Cabecera de cárcava en el polígono de intervención.

6.6 Mapa 6.

En base a la información obtenida en campo, posteriormente se digitalizaron las áreas que corresponden a los distintos tipos de vegetación y usos de suelo en el Ejido. Por medio de los ortomosaicos generados con los vuelos con Dron, se identificaron los tipos de vegetación como se muestran a continuación en el siguiente mapa.



Mapa con Polígonos por tipo de vegetación.

CAPITULO 7. Obras de rehabilitación de suelos y conservación de agua.

7.1 Priorización del polígono a intervenir.

En base a las características descritas anteriormente sobre suelos, vegetación y actividades productivas en el área de uso común del ejido Doña Juana y como resultado de la evaluación realizada mediante recorridos de campo, se identificó un polígono de 42.6 hectáreas.

Con los datos recabados en los muestreos de campo, se priorizó intervenir en el área que presenta mayor amenaza en la pérdida de suelos por la formación de cárcavas, las cuales presentan dimensiones que variaban de los 18 hasta los 200 metros de longitud, anchuras de 1.5 a los 20 metros y profundidades mínimas de 0.5 metros alcanzando más de 16 metros en aquellas cárcavas de mayor antigüedad.

Si bien toda el área de este polígono presenta fragmentación de la cubierta vegetal, es en la parte más baja donde se presentan cárcavas y zonas erosionadas con suelos desnudos. Es la zona más vulnerable a la erosión y pérdida de suelo fértil y donde concurren mayor número de factores que propician su detrimento como es



el pastoreo extensivo por contener los mejores pastos de la cuenca, existencia de bordos de abrevadero que propician mayor tránsito de ganado y pisoteo, provocando ruptura de los taludes de los arroyos y de las mismas cárcavas en proceso de formación. Por ello se consideró intervenir en una primera etapa, un polígono de 2.77 kilómetros de perímetro con un área de 42.6 hectáreas.

7.2 Obras de Rehabilitación.

El criterio de intervención se basa en el manejo integral de cuencas, donde la rehabilitación de suelos es la primera acción física, previa a la biológica de una segunda etapa de intervención.

Las obras que se implementan para conservación de suelos y agua preferencialmente deben ser con materiales de la región (importar a la microcuenca el mínimo de insumos), que sean de bajo costo, que permitan la participación de los propietarios, usuarios y permitan la participación de actores externos de la comunidad; de alto impacto ambiental y que permitan obtener resultados tangibles y medibles a corto plazo.

Por lo anteriormente descrito, la primera obra propuesta para detener el proceso de erosión y poder rehabilitar las cárcavas que presentan un rápido crecimiento, es la construcción de presas filtrantes de piedra acomodada y terrazas a curva de nivel, utilizando los materiales pétreos del mismo predio.



Cárcava erosionada antes y después de la intervención con material pétreo del lugar.

El objetivo entonces fue “Recuperar las funciones y servicios ambientales de la microcuenca Doña Juana implementando acciones de rehabilitación de los recursos naturales: suelos, agua y vegetación, incorporando la perspectiva del ‘manejo integral de cuencas’ con procesos de aprendizaje y prácticas participativas en la comunidad”.



Las metas de intervención fueron rehabilitar 2 mil metros lineales de cárcavas y áreas erosionadas mediante la construcción de presas de piedra acomodada y terrazas a curva de nivel.

7.2.1 Presas filtrantes de piedra acomodada.

Las presas filtrantes son estructuras para disminuir la velocidad del agua pluvial en arroyos, cárcavas o zanjas, infiltrándola al subsuelo evitando la erosión laminar del mismo, construidas mediante la colocación de materiales pétreos, gaviones, geocostales, ramas secas producto de podas sanitarias o cualquier material local que se encuentre cerca del sitio de intervención.

Se recomienda la construcción de las presas filtrantes separadas buscando la relación “cabeza-pie” donde el pie o base de la terraza “aguas arriba” está a nivel con la cabeza de la siguiente “aguas abajo”. Se deben buscar los lugares más angostos de las cárcavas para su construcción.

Las dimensiones recomendadas son: Desplante de 1.5 m x 1.5 m de altura x 1.0 m de corona. La longitud depende del ancho de la cárcava. El vertedor puede tener 1/3 de la longitud de la presa en forma rectangular o en forma de “U”.



Presa filtrante “tipo”.

Las presas filtrantes hay que empotrarlas tanto en el fondo como en los taludes o paredes de las cárcavas para aumentar la estabilidad y fuerza de las estructuras de piedra construidas. Las presas tendrán un vertedor para asegurar que la corriente de agua de lluvia corra por el centro de la estructura y no dañe los taludes



o paredes del arroyo, como tampoco a la misma estructura de la presa. El vertedor será de 1/3 del largo de la presa con una altura de 0.3 a 0.5 metros como máximo.



Cárcava antes de la intervención



Cárcava después de la intervención

7.2.2 Terrazas a curva de nivel.

Al igual que las presas filtrantes, las terrazas a curva de nivel controlan la velocidad del agua pluvial, provocando la caída vertical de la misma, atrapando sedimentos y semillas de plantas nativas provenientes de aguas arriba de la terraza, las cuales germinarán entre los espacios entre piedras con un efecto estabilizador de la estructura construida y revegetando el terreno en proceso de rehabilitación.



Sitio erosionado antes de la intervención



Construcción de terrazas a curva de nivel

7.3 Impacto de las acciones de rehabilitación.

La Tabla 1 presenta los resultados respecto al volumen construido por tipo de obra, así como los volúmenes de captación de azolves o sedimentos y la capacidad de



captación de agua pluvial en función de la suma de las áreas de captación de todas las presas filtrantes y las terrazas de piedra a curva de nivel.

Tabla 1. Cuantificación de volúmenes.

Obra	Cantidad	Volumen construido M3	Volumen de captación de azolves M3	Volumen de infiltración pluvial M3/24 horas	Volumen de infiltración pluvial M3/ anual
Presas filtrantes en cárcavas	228	786.3			
Terrazas a curva de nivel	18	125.2			
Totales	246	911.5	224.735	326.353	3,336.719



Presas filtrantes en primer plano y al fondo terrazas a curva de nivel, ambas construidas con piedra acomodada del lugar.



Sitio erosionado antes de la intervención



Terrazas a curva de nivel después de la intervención



CAPÍTULO 8. Otros productos y conclusiones

8.1 Fotografías aéreas para reconocimiento del paisaje.





8.2 Videos aéreos.

Para el monitoreo de las acciones en rehabilitación de suelos, se llevó a cabo la grabación de videos aéreos, en donde muestran el progreso de las acciones del equipo de trabajo en las actividades de acarreo y construcción de obras.

Estos videos aéreos fueron grabados con el fin de promover las actividades de rehabilitación con la gente de la comunidad y pudieran ser visualizados por públicos externos, estudiantes, funcionarios, etc.



Edición de videos de construcción de represas.



Edición de videos de construcción de terrazas.

8.3 Conclusión.

La evolución de la tecnología de computadoras ha hecho que los diversos Sistemas de Información Geográfica se conviertan en elementos de importancia en la población. Es por eso por lo que en la actualidad la Dependencia o Empresa que no lleve un SIG, cualquiera que este sea, no se considera estar a la vanguardia.

Es muy importante ir actualizando la información y ponerla a disposición de la población para que esté informada, generando con ello nuevos enfoques por parte de la gente y se involucren en el rescate de su entorno, poder también involucrar a más personas con nuevas ideas y no se tenga un solo protocolo para atacar los problemas ambientales que nos afectan a todos.



Este manual relacionó los temas del medio ambiente con los sensores tecnológicos de una manera comprensible, lo que brinda valiosas herramientas para los profesionistas, estudiantes de Ciencias Naturales y de Ingeniería interesados en la conservación ambiental.

GLOSARIO.

- **Analógico:** Proceso mecánico o manual.
- **Cárcava:** Las cárcavas son los socavones producidos en rocas y suelos de lugares con pendiente a causa de las avenidas de agua de lluvia. Estas producen la llamada erosión remontante. Se producen tan solo en el sustrato de tipo arcilloso.
- **Cartografía:** La cartografía es la ciencia aplicada que se encarga de reunir, realizar y analizar medidas y datos de regiones de la Tierra, para representarlas gráficamente con diferentes dimensiones lineales y escalas.
- **Coordenada:** es un sistema que utiliza uno o más números, para determinar unívocamente la posición de un punto o de otro objeto geométrico en el espacio.
- **Estación Total:** aparato electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.
- **Fotogrametría:** es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos.
- **Georreferenciación:** es la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y datum específicos. Es una operación habitual dentro del sistema de información geográfica (SIG) tanto para objetos ráster (imágenes de mapa de píxeles) como para objetos vectoriales (puntos, líneas, polilíneas y polígonos que representan objetos físicos).
- **GPS de doble frecuencia:** La doble frecuencia en los GPS es una medición de la velocidad relativa de la señal captada usando dos señales diferentes. Esto lo emplean los receptores GPS avanzados, con el fin de disminuir o eliminar en lo posible los errores de medición inducidos por la atmósfera.



- **Información Ráster:** consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.
- **Información Vectorial:** datos consistentes de una serie de elementos dispersos en el espacio geográfico. Estos pueden ser datos puntuales (sitios de perforación), líneas (carreteras), polígonos (límites de parques), volúmenes (estructuras CAD en 3D) o alguna combinación de ellos.
- **Móvil:** también llamado teléfono móvil o celular, aparato para poder comunicarse.
- **Morfología:** Estudio de su estructura y sus características.
- **Nubes de puntos:** Una nube de puntos es un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional. Estos vértices se identifican habitualmente como coordenadas X, Y, y Z y son representaciones de la superficie externa de un objeto.
- **Orografía:** se refiere tanto a las elevaciones que puedan existir en una zona en particular como a la descripción de ellas que realiza la geomorfología.
- **Ortofoto:** son fotos aéreas del terreno, pero georreferenciadas en el espacio y rectificadas para ofrecer las mismas propiedades que un plano.
- **Plan de vuelo:** Planeación de la dirección, altura y velocidad de un objeto volador tripulado o no tripulado en un área determinada.
- **Procesamiento de imágenes:** es el conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información.
- **Replanteo topográfico:** es una operación de precisión mediante la cual se marcan sobre el terreno a edificar los puntos o lindes básicos del proyecto.
- **Resolución:** indica la cantidad de detalles que puede observarse en una imagen.
- **Shape:** El formato ESRI Shapefile es un formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI, quien crea y comercializa software para Sistemas de Información Geográfica como Arc/Info o ArcGIS.



- **Software:** Se conoce como software al soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos que son llamados hardware.
- **Sistema de Información Geográfica:** es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.
- **Traslape o sobrelape:** es el superposicionamiento de una imagen aérea sobre otra.

BIBLIOGRAFIA.

- Evaluación de las acciones de rehabilitación de los recursos naturales y el desarrollo comunitario en las Áreas Naturales Protegidas y Microcuencas Prioritarias del municipio de Guanajuato. Primera Edición, agosto 2012. (Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, Cuerpos de Conservación Guanajuato, A.C.)
- Manejo Integral de cuencas hidrológicas y la prevención de los desastres naturales. Edición 2009. (Jacinto Meritano y Arenas).
- Protección, Rehabilitación y Conservación de Suelos Forestales. 4ta Edición 2013.
- Promoción de la gestión local para el manejo sustentable de las microcuencas. Microcuenca Sosnabar. Universidad Autónoma de Querétaro. Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.
- Protección Civil Municipal de San Miguel de Allende, Gto. México.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2005. Cuaderno Estadístico Municipal. San Miguel de Allende, Guanajuato. Producto electrónico.
- RAN, Registro Agrario Nacional.
- Subsistema de Información Geográfica y Medio Ambiente del Estado de Guanajuato. Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial.