



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



MCIA
Maestría en Ciencias
en Ingeniería Ambiental
UMSNH

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA CIVIL.

**Determinación de lixiviados y volumen de residuos sólidos en tiraderos a
cielo abierto, mediante el uso de dron, caso región Morelia.**

**Determination of leachate and volume of solid waste in open dumps, through
the use of drone, in the Morelia region case.**

Tesis para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL.

presenta
HYPATIA MARIANA CRUZ REYES
Ingeniero Civil.

Director de tesis:
DR. HUGO LUIS CHÁVEZ GARCÍA

Co-Director de Tesis:
DRA. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN

Morelia, Michoacán, noviembre de 2020.

CONTENIDO

Resumen	7
Abstract	8
1. Introducción	9
2. Justificación	10
3. Hipótesis	11
4. Objetivo	12
4.1 General	12
4.2 Específicos	12
5. Marco teórico	12
5.1 Definición de Topografía	12
5.2 La Geomática	13
5.3 Fotogrametría	13
5.3.1 Fotogrametría aérea	14
5.3.2 Fotogrametría digital.....	15
5.3.3 Aplicaciones de la fotogrametría en ingeniería civil.	15
5.4 Vehículos Aéreos No Tripulados UAV (Drones)	16
5.5 Programas para procesamiento de fotogrametría con UAV.....	16
5.5.1. Agisoft Metashape	16
5.6. Lixiviados	17
5.6.1 Calidad de los lixiviados.....	18
5.6.2 Cantidad de los lixiviados	19
5.6.3 Alternativas de tratamiento	20
6. Antecedentes	23
6.1 Los drones encontrando su lugar en la Topografía.....	25
6.2. Usos y aplicaciones de los drones	25
6.3. Trabajos realizados.....	26
7. Metodología	28
7.1 Visita y Recorrido a la zona de estudio	28
7.2. Zona de estudio.....	28
7.2.1 Topografía	28
7.2.2 Clima.....	29
7.2.3 Geología	30

7.2.4 Edafología.....	31
7.2.5 Hidrología.....	32
7.2.6 Uso del suelo y vegetación.....	32
7.2.7 Uso potencial de la tierra.....	33
7.2.8 Sol.....	33
7.2.9 Viento.....	34
7.3 Levantamiento topográfico.....	35
7.3.1 Trabajo de campo.....	36
7.3.2 Puntos de Control.....	38
7.3.4 Anotaciones en la libreta de tránsito.....	40
7.4. Fotogrametría.....	41
7.4.1 Planificación del vuelo.....	41
7.4.2 Procesamiento de información del levantamiento.....	42
7.4.2.1 <i>Proceso inicial</i>	42
7.4.2.2 <i>Nube de Puntos y malla</i>	42
7.4.2.3 <i>Modelo digital de elevaciones</i>	43
7.4.3 Proceso del cálculo.....	43
7.5 Determinación del volumen de los residuos sólidos de la zona de estudio mediante fotogrametría con drones.....	43
7.5.1 Trabajo de campo.....	43
7.6 Generación de Lixiviados.....	44
7.6.1 Estimación de la producción de lixiviados.....	44
8. Resultados y discusiones.....	48
8.1 Coordenadas obtenidas con la Estación Total.....	48
8.2 Cálculo de volumen obtenido con el levantamiento topográfico.....	58
8.2.1 Planimetría y Altimetría.....	58
8.2.2 Planimetría.....	59
8.2.3 Altimetría.....	64
8.2.4 Planimetría y altimetría simultaneas.....	67
8.2.5 Cálculo de volumen de residuos sólidos.....	69
8.2.6 Comprobación del cálculo de volumen de los residuos sólidos.....	70
8.3. Procesamiento de las imágenes obtenidas en el levantamiento fotogramétrico.....	72
8.4. Comparación de los volúmenes obtenidos con los equipos utilizados.....	82

8.5. Cálculo de Lixiviados.....	83
8.5.1. Cálculo de la evapotranspiración potencial ajustada (EVTPA).....	83
8.5.2. Cálculo de coeficiente de escurrimiento.....	84
8.5.3. Calculo de la evapotranspiración y la percolación.....	84
8.6. Determinación del caudal de lixiviados en el tiradero a cielo abierto.....	85
8.7. Estimación del daño socio-ambiental y económico evitado.....	88
8.7.1 Daño económico evitado.	89
8.7.2 Daño social evitado.	91
8.7.3 Estimación del daño ambiental.....	91
9. CONCLUSIONES.....	92
10. Bibliografía.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1 Fotometría aérea. (Quirós, 2014).....	14
Figura 2 Fotometría digital.(Pix4D,2018)	15
Figura 3 Agisoft Metashape(2019).....	17
Figura 4 Imagen Boca del Río, Veracruz. (Agencia Informativa Canacyt)	27
Figura 5. Topografía Queréndaro (INEGI).	29
Figura 6. Fuente: página. clicom-mex.cicese.mx/estación Álvaro Obregón, Mich.	30
Figura 7.Clima Queréndaro (INEGI).....	30
Figura 8.Geología de Queréndaro (INEGI).	31
Figura 9.Edafología Queréndaro (INEGI).....	31
Figura 10. Hidrología Queréndaro (INEGI).	32
Figura 11. Uso de Suelo y vegetación Queréndaro (INEGI).....	33
Figura 12. Cantidad de horas durante los cuales el sol está visible (weatherspark).	34
Figura 13. Promedio de la velocidad de la velocidad media del viento por hora (weatherspark). ..	34
Figura 14. Mapa de Ubicación del tiradero clandestino del municipio de Queréndaro, Mich.....	35
Figura 15. Estación Total Geo-South.....	37
Figura 16. Ubicación geográfica de los puntos de control. (Google Earth).....	38
Figura 17. Anotaciones en libreta de tránsito.....	41
Figura 18. Plan de vuelo en DroneDeploy.....	44
Figura 19. Ortofoto E14A14D Zinápecuaro (INEGI 1998).....	59
Figura 20. Imagen Satelital 2020 (Mapas).....	59
Figura 21.Puntos del levantamiento topográfico importados al AutoCad.	60
Figura 22.Puntos para obtener la Planimetría del Terreno.	60
Figura 23.Triangulación con los puntos de terreno natural.....	61
Figura 24. Triangulación malla 3D.....	61
Figura 25.Curvas de nivel terreno natural. (Planimetría).....	62
Figura 26.Eje propuesto longitudinalmente.	62

Figura 27. Trazo de estaciones, eje longitudinal de la estación 0+000 hasta la estación 0+327.99 m.	63
Figura 28. Perfil del eje propuesto longitudinal del terreno.....	63
Figura 29.Secciones transversales del eje longitudinal del terreno.....	64
Figura 30.Puntos depurados del terreno con los residuos sólidos.	64
Figura 31.Triangulación obtenida con el CivilCad del terreno accidentado (terreno con los residuos sólidos).	65
Figura 32.Curvas de nivel del terreno accidentado (terreno con los residuos sólidos).	65
Figura 33.Estaciones del perfil longitudinal del terreno con los residuos sólidos, con longitud derecha de 65m y 107 m izquierdas, de la misma longitud del perfil del terreno natural de 327.99 m.....	66
Figura 34.Perfil obtenido en el CivilCad del terreno accidentado (terreno con los residuos sólidos).	66
Figura 35.Secciones transversales con separación entre ellas de 10 m en terreno accidentado ...	67
Figura 36.Emplame de los perfiles del terreno natural y del terreno accidentado.	68
Figura 37.Cálculo del área en AutoCad, las secciones 0+140,0+150,0+160 de eje longitudinal propuesto.	68
Figura 38.Eje propuesto en el terreno natural, transversalmente.	70
Figura 39. Eje propuesto en el terreno accidentado, con las estaciones que van de 0+00 hasta 0+151.48 m.	70
Figura 40.Empalme de los perfiles de eje propuesto transversalmente en los terrenos natural y accidentado.....	71
Figura 41.Cálculo de las áreas en AutoCad, en las secciones de empalme del terreno natural y el terreno accidentado.....	71
Figura 42. Inicio del Programa Argisoft.....	73
Figura 43. Fotos tomadas durante el vuelo con el dron.	73
Figura 44. Calibración de las cámaras.	74
Figura 45. Dar de alta el sistema de coordenadas.	74
Figura 46. Comprobación de la zona 14 Google Earth.....	75
Figura 47. Orientación de las fotos.	76
Figura 48. Inicio del procesamiento de imágenes.....	76
Figura 49. Alimentación de los puntos de control.	77
Figura 50. Filtración de las fotos con los puntos de control o marcadores.	77
Figura 51. Nube de puntos densa.	78
Figura 52. Modelo digital de elevaciones (MDE).	79
Figura 53. Ortofoto del tiradero a cielo abierto, Queréndaro Mich.	79
Figura 54. Ortofoto importada al Civil3D.....	80
Figura 55. Nube de puntos Civil3D.....	80
Figura 56. Curvas de nivel, en base de la ortofoto (Civil3D).	81
Figura 57. Cálculo del área del tiradero a cielo abierto del municipio de Queréndaro.....	81
Figura 58. Cálculo de volumen de los residuos sólidos.....	82
Figura 59. Área del tiradero a cielo abierto del municipio de Queréndaro.....	86

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Distribución territorial para la Geomorfología, INEGI 2010.	29
Tabla 2. Coordenadas de Puntos de Control.....	39
Tabla 3. Climatología del lugar.	47
Tabla 4. Coordenadas obtenidas de la Estación Total.	58
Tabla 5. Cálculo de Volumen en cada uno de los empalmes de las secciones transversales del eje longitudinal.	69
Tabla 6. Cálculo de volumen en el eje propuesto transversalmente del terreno.....	72
Tabla 7. Cálculo de la evapotranspiración potenciales mensuales.....	83
Tabla 8. Cálculo de la evapotranspiración corregido.	83
Tabla 9. Cálculo de la humedad de infiltración, mediante el coeficiente de escurrimiento mensual.	84
Tabla 10. Cálculo de la evapotranspiración y la percolación.	85
Tabla 11. Comparación de los resultados de la estimación de la generación, con los métodos utilizados.	87
Tabla 12. Valores de los costos de levantamientos topográficos.	89
Tabla 13. Personal requerido con Estación Total.....	91
Tabla 14. Personal requerido con Dron.	91
Tabla 15. Algunos estudios requeridos para restauración ambiental.	92

Resumen.

Actualmente en el estado de Michoacán existen varios rellenos sanitarios para la disposición final de los residuos sólidos, algunos de estos sitios están ubicados cerca de las cabeceras municipales, en algunos casos se tiene control sobre ellos, mientras que en la mayoría de éstos opera de manera deficiente e insegura, provocando daños a la salud humana y para el ambiente. Debido a que no existe un control para el depósito de estos residuos no se pueden tomar las decisiones de control ambiental, por esto, el levantamiento topográfico con el uso de drones para obtener un método de cálculo de volúmenes de residuos sólidos surge como una buena alternativa, ya que permite medir sin contacto, es decir en lugares donde es difícil acceder, se puede tener una cobertura de grandes áreas en poco tiempo, y el procesamiento de datos es automático, y fácilmente interpretables.

En este caso será aplicado en un sitio de disposición final no controlado, en la región de la ciudad de Morelia, Michoacán, para este proyecto es necesario hablar de topografía, y fotogrametría ya que son ciencias que forman parte importante para realizar este proyecto, para obtener un modelado de la superficie de estudio, ya que se realizará una comparación de los resultados obtenidos mediante un levantamiento topográfico realizado con una estación total y los resultados obtenidos con el uso de dron.

En este proyecto se explicará el procedimiento desde el reconocimiento del área de estudio, como se irá realizando el proceso del levantamiento, la manipulación de los datos obtenidos en campo para realizar un modelo en 3D y la obtención de resultados y comparación de los mismos.

Palabras Clave: Topografía, Fotogrametría, Dron, Residuos Sólidos, Tiraderos.

Abstract

Currently in Michoacán state, there are several sanitary landfills for the final disposal of solid waste, some of these are located near the counties seats, in some cases they have control over them, while most of them operates in a deficient and insecure form, causing damage to human health and the environment. Because there is no control for these dumps, environmental control decisions can't be made, for this reason, the topographic survey with the use of drones, with the purpose of obtaining a method of calculating solid waste volumes emerges as a good alternative, because it allows to measure without contact, that is to say in places where it is difficult to access, one can have a coverage of large areas in a short time, and the data processing is automatic, and easily interpretable.

In this case it will be applied in a clandestine dump, in the region of Morelia city, Michoacán, for this project it is necessary to talk about topography, and photometry since they are important sciences to carry out this project, to obtain a modeling of the study surface, since a comparison of the results obtained by means of a topographic survey made with a total station and the results obtained with the use of drone will be made.

In this project the procedure will be explained from the recognition of the study area, how the survey process will be carried out, the manipulation of the data obtained in the field to make a 3D model and the obtaining of results and comparison of them.

1. Introducción.

En la actualidad en la ciudad de Morelia, hay un crecimiento poblacional, donde se desechan ininidad de toneladas de residuos sólidos, con este proceso de urbanización acelerado, hay cambios de patrones de consumo provocando un aumento en la generación de altas cantidades de residuos, que son depositados en lugares que no cumplen con la normatividad que se establece en el medio ambiente, provocándole daños, porque estos residuos son depositados en tiraderos a cielo abierto, y no hay control ni monitoreo adecuado para que se genere un ciclo que sea ecológicamente adecuado y tratado.

Diariamente se generan en el estado 4 mil 300 toneladas de basura, considerada como la principal fuente de contaminación, señaló la Secretaría de Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Territorial (Semaccdet, 2019). De 113 municipios, solo 36 cuentan con la infraestructura para el manejo y destino final de la basura.

Hoy en día Michoacán ocupa el lugar número 27 a nivel nacional en el manejo de los residuos sólidos municipales. En la identidad solo 11 municipios cuentan con el tratamiento de residuos. El resto de los municipios arrojan sus desperdicios en los alrededores de las ciudades o pueblos, en causes de los ríos, mares, barrancas o en un terreno a cielo abierto. En la mayoría de los municipios los residuos son llevados directamente rellenos sanitarios, sin previo tratamiento de recolección, reutilización, y reciclaje. (López T. , 2019)

Uno de los temas que preocupan en la actualidad es la gran cantidad que la población genera de residuos sólidos y donde son depositados, así mismo es importante establecer procedimientos necesarios para incrementar su control, desarrollo y monitoreo para establecer un buen funcionamiento del sitio de disposición final.

2. Justificación.

Es necesario tener en la actualidad la información suficiente que nos permita tener los elementos necesarios para poder hacer una proyección a futuro de los desastres ecológicos que estos rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto, así como su vida útil y determinar la estrategias necesarias para la implementación de nuevos rellenos sanitarios controlados que disminuyan los daños en el impacto ambiental que actualmente generan, y de tal manera que se pueda determinar los lugares adecuados de la nuevas ubicaciones, fuera de la mancha urbana ya que es necesario considerar que ésta última sufre un crecimiento acelerado debido al mismo aumento poblacional de esta región y en los municipios que enfrentan esta problemática en el estado de Michoacán.

El aumento de producción de residuos sólidos y su inadecuada gestión, en especial en la etapa de disposición final, ha generado múltiples problemas ambientales, que afectan no sólo las condiciones de este medio, sino también el bienestar de los que habitan en él. (Gilraldo, 2014) Entre los impactos más visibles se puede mencionar la contaminación del suelo, del recurso hídrico y de la atmósfera por su contacto con los lixiviados provenientes de las infiltraciones y drenajes de los rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto.

Por lo anterior en este trabajo se plantea utilizar los drones conociendo sus aplicaciones para levantamientos fotogramétricos y para el control medio ambiental de una manera más rápida y segura, para utilizar este nuevo método en la determinación de mediciones en estos lugares, y así obtener cálculos volumétricos, con ayuda de un dron y un software de procesamiento para obtener los resultados esperados. Cuando se introduce una tecnología desconocida, tenemos que demostrar, su precisión al ser aplicado en el inicio de cualquier obra civil para remediar o realizar un desarrollo sustentable, así como prevenir y remediar la contaminación de los sitios con residuos urbanos y se pueda llevar una valorización para la gestión integral de los residuos, con estos métodos se podrá identificar qué

tipo de proyecto funcionará y así garantizar que la información esté dentro de las tolerancias, es absolutamente necesario sin importar la tecnología que utilicemos.

Se optó por utilizar este tipo de método de medición ya que entrar en estos lugares para hacer mediciones de una manera convencional de Topografía puede ser peligroso al estar en contacto con todo tipo de residuos, pues al existir la posibilidad de la presencia de residuos peligrosos, los cuales pueden ser: corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables y biológico infecciosos, esto conlleva un alto riesgo para los técnicos y personal que en un momento dado realice un levantamiento topográfico con estación total, por esta razón el uso de drones previene del riesgo antes mencionado, además de resultar más económico y rápido el trabajo de fotogrametría, por lo tanto se deben establecer medidas y acciones para la prevención de accidentes o enfermedades que puedan contraerse en un tiradero a cielo abierto, a fin de conservar la vida, salud e integridad física de la brigada de topografía que realizará la mediciones en el lugar, así como evitar cualquier posible accidente en el lugar donde se realiza la medición.

La determinación del lixiviado permitirá conocer el volumen y el caudal de manera que se podrá estimar el daño ambiental posteriormente, además de dar a conocer estos resultados a la sociedad y a las autoridades que corresponda para sensibilizar, concientizar y educar para transitar hacia lo sustentable y dar una alternativa de tratamiento de los lixiviados generados en el tiradero a cielo abierto.

3. Hipótesis

Es posible determinar adecuadamente el cálculo del volumen de residuos sólidos con el uso de los drones, (vehículo aéreo no tripulado VANT), para un tiradero a cielo abierto, en este caso en la región de Morelia, Michoacán.

4. Objetivo.

4.1 General

Establecer una metodología para obtener el cálculo volumétrico en los rellenos sanitarios no regulados en la región Morelia.

4.2 Específicos

- i. Determinar el área del tiradero, mediante fotogrametría con un dron.
- ii. Estimar el área del tiradero clandestino con el uso de una estación total.
- iii. Determinar el volumen de lixiviados.
- iv. Determinar el caudal de lixiviados.
- v. Estimar el daño socio-ambiental y económico evitado.

5. Marco teórico.

5.1 Definición de Topografía.

La topografía es una ciencia que se ocupa del estudio de los todos los métodos para recopilar la información que permita representar gráficamente las características físicas que se encuentra en una determinada área de estudio, esta información se obtiene encontrando o determinando posiciones de puntos situados sobre la superficie terrestre mediante el uso de instrumentos que permiten todas las mediciones necesarias del sitio de interés, así como la localización de cada uno de estos, con el objeto de tener una representación detallada e idéntica del área de estudio. El procedimiento que permite la representación gráfica de estos puntos se le llama levantamiento topográfico. (García Marín & Rosique, 1994)

5.2 La Geomática.

La geomática es una ciencia multidisciplinaria que debido a los avances tecnológicos se pueden aplicar nuevas herramientas de captura, almacenamiento y procesamiento de datos, para el análisis de cálculo e interpretación de los mismos. Actualmente los equipos topográficos que se usan para medir y recopilar información cuentan los instrumentos electrónicos que permiten realizar mediciones de extensas áreas sobre la superficie terrestre en lugares que se tiene difícil acceso y obtener la información necesaria para su representación. El procesamiento de los datos obtenidos en campo con sistemas computacionales permite producir automáticamente mapas, planos u otros modelos.

La geomática permite recoger, analizar y tratar la información espacial operando en diversos campos como cartografía, sistemas de información geográfica, topografía, o la fotogrametría. Estas nuevas tecnologías proporcionan nuevas herramientas de recopilación de información, para el cálculo, la presentación y difusión de la información. (Wolf & Ghilani, 2016)

5.3 Fotogrametría

La fotogrametría, según Bonneval, *“es la técnica que se tiene como objeto estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías”*. (Quirós Rosado, 2014)

La fotogrametría se define como la unión de técnicas para obtener medidas confiables de elementos específicos mediante el uso de fotografías aéreas, ya sea una o varias, con la finalidad de definir atributos geométricos como posición, tamaño y forma de los mismos. (Ruiz, 2003). Se puede definir como fotometría, como la ciencia para elaborar mapas o planos partiendo de fotografías realizadas bajo unos concionantes específicos.

Algunas de las ventajas de trabajar con fotogrametría son las siguientes:

- Se puede obtener información objetiva con representaciones actualizadas de las zonas de interés.
- Genera resultados homogéneos de planimetría y altimetría de alta precisión.
- Facilidad y rapidez para obtener resultados.
- Permite realizar levantamientos en zonas con difícil acceso.

5.3.1 Fotogrametría aérea.

Se obtienen a partir de vehículos aéreos los cuales cuentan con una cámara que captura imágenes perpendiculares a la superficie terrestre (Tapia, 2017). A partir de estas imágenes se pueden obtener representaciones del terreno en dos y tres dimensiones, además permiten cubrir grandes superficies de terreno en un menor tiempo.

Actualmente los levantamientos topográficos, son realizados con técnicas de fotogrametría, a partir de fotografías aéreas, obteniendo con ello ortofotos quedan lugar realizar la cartografía de un lugar, con ello se puede hacer la fotointerpretación o hasta la Teledetección. (Sanches, 2006-2007)

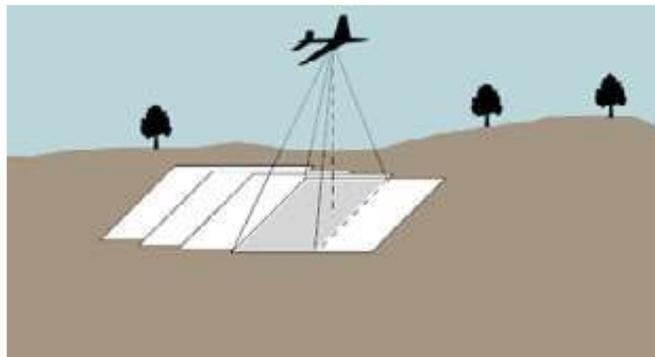


Figura 1 Fotometría aérea. (Quirós, 2014)

5.3.2 Fotogrametría digital.

Las fotografías son digitalizadas y procesadas en equipos informáticos de última tecnología tanto en hardware como en software. Con ayuda de estas herramientas se puede obtener mosaicos georreferenciados y reconstrucciones de modelos digitales de terreno en 3D, cuya aplicación principal se da en los Sistemas de Información Geográfica (SIG). (Hernández, 2006)

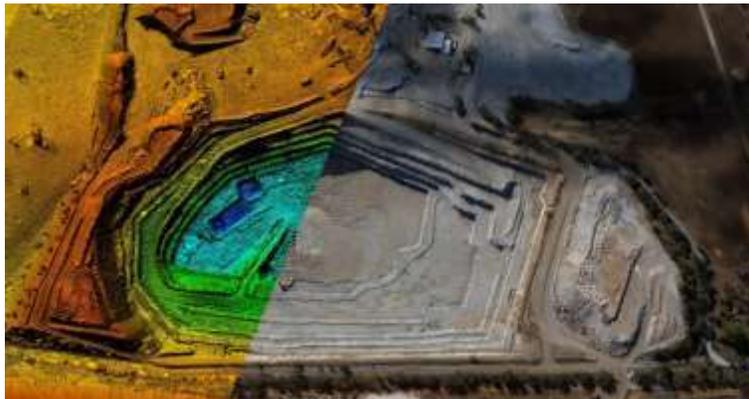


Figura 2 Fotometría digital.(Pix4D,2018)

5.3.3 Aplicaciones de la fotogrametría en ingeniería civil.

En el marco general de la Ingeniería existen cuatro grandes grupos de actuaciones donde se utilizan la fotogrametría:

1. Vías de comunicación. Para el estudio de establecimiento de trazados.
2. Planificación territorial. En el planeamiento urbanístico y ordenación del territorio.
3. Hidrografía. Estudio de cuencas, deformaciones de presas, etc.
4. Ejecución de movimiento de tierras. Medición de volúmenes removidos. (Quirós Rosado, 2014)

5.4 Vehículos Aéreos No Tripulados UAV (Drones).

Un vehículo aéreo no tripulado, UAV por sus siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicle) es una aeronave robótica con motor que es controlada de forma remota por un operador en tierra. (Cuerno, 2015). Estos equipos fueron creados con la finalidad de utilizarlos en actividades militares debido a su bajo costo y a que evita por completo el riesgo humano, pero gracias a los avances tecnológicos se ha logrado explotar su potencial para usarlos en un sin número de aplicaciones civiles.

Actualmente los UAV, también conocidos como drones, cuentan con sistema de posicionamiento integrado, sensores y cámaras de avanzada tecnología que permiten obtener videos y fotos de alta definición.

5.5 Programas para procesamiento de fotogrametría con UAV.

Existen varios programas de fotogrametría disponibles en el mercado cuya aplicación varía en función del resultado que se desea obtener. A pesar de que cada programa cuenta con diferentes características todos tienen una operación similar para realizar el procesamiento de la información (Rossi, Rhody, Salvaggio, & Walvoord, 2012). Entre los programas más utilizados para el procesamiento de fotogrametría se encuentran Agisoft Metashape y Pix4D.

5.5.1. Agisoft Metashape.

Agisoft Metashape es un producto de software autónomo que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D para ser utilizados en aplicaciones SIG, arqueología, efectos visuales y por su puesto proyectos de ingeniería; a partir de la adquisición indirecta de medidas y dimensiones de objetos de diferentes tamaños. (CONAPTAC, 2019)

Las técnicas de fotogrametría digital aplicadas de manera inteligente combinadas con los distintos métodos de trabajo por computadora, resulta en un sistema de procesamiento inteligente y casi automatizado donde un especialista puede aplicar

los resultados a numerosas tareas específicas y diferentes tipos de datos, obteniendo del software:

- Nube de puntos 3D: reconstrucción digital georreferenciada de manera precisa en todos los puntos de interés.
- Modelos digitales de superficie y terreno: valores de elevación de cada píxel que permiten trabajar con herramientas SIG.
- Ortomosaicos: mapas digitales de alta resolución georreferenciados a partir de imágenes procesadas.
- Cálculos de volumen: es posible realizar cálculos de volumen precisos a partir de una representación gráfica perfecta de las zonas de interés.
- Líneas de control: representación de la configuración del terreno con las curvas de nivel.
- Cálculo de áreas: permite realizar medidas de superficies de cualquier tipo con coordenadas.
- Modelos 3D: creación de mallas texturizadas con texturas fotorrealistas del objeto en estudio.



Figura 3 Agisoft Metashape(2019)

5.6. Lixiviados.

Existen características de los lixiviados, se concluye que los lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir su alto contenido de materia orgánica, alto contenido de nitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos. Estas características son importantes en cuanto nos permiten conocer que vamos a remover de los lixiviados durante su tratamiento, sin embargo, existen

otras características, sin ser necesariamente contaminantes, pueden afectar el proceso de su tratamiento. (Gilraldo, 2014)

5.6.1 Calidad de los lixiviados.

La calidad de los lixiviados en un relleno sanitario varía grandemente en el tiempo, al igual que con el tipo de relleno que se tenga. Esto tiene importantes implicaciones para la operatividad y el rendimiento en el proceso de su tratamiento y debe de tenerse la precaución cuando se adapte unas de las técnicas de tratamiento. Los lixiviados de las áreas de los rellenos sanitarios que han depositado residuos sólidos recientemente producen un lixiviado altamente contaminante, denominado lixiviado joven. Estas concentraciones contaminantes disminuyen con el tiempo. (Gilraldo, 2014)

Las concentraciones de sales disueltas, y metales pesados son mucho mayores en lixiviado joven, generando problemas de toxicidad en el caso que se quiera utilizar procesos biológicos para la remoción de la DBO. Por otra parte, las concentraciones de agentes incrustantes como el hierro, el calcio y el magnesio, generan problemas prácticos pues taponean la mayoría de los ductos, tuberías, accesorios, válvulas, membranas y tanques, etc. Donde el lixiviado entra en contacto con el sistema de conducción y tratamiento. (Gilraldo, 2014)

El bajo pH a su vez puede interferir con el funcionamiento de numerosas tecnologías que se proponen, por ejemplo, la volatilización de amoníaco, para lo cual se requieren pH básicos como la nitrificación, o químicos como la oxidación del hierro. Los metales afectan la remoción de la DBO, y la presencia de DBO la remoción de los metales, sin dejar claro por dónde empezar a tratar. Los lixiviados jóvenes pueden llegar a generar problemas de toxicidad por amoníaco en los sistemas biológicos anaeróbicos para la remoción de DBO. Por otra parte, el fósforo, que como valor absoluto se encuentran en altas concentraciones, con frecuencias se encuentra insuficiente en los lixiviados jóvenes a la hora de la remoción de la DBO

por procesos biológicos, lo que lleva a la necesidad de tener que adicionar fósforo en el proceso. (Gilraldo, 2014)

La alta presencia de detergentes, por otra parte, presenta problemas prácticos importantes a la hora de utilizar procesos biológicos. Si se utilizan procesos aerobios, en donde es necesario introducir aire al agua por un sistema de inyección, la formación de espumas en los tanques de aireación genera problemas operativos difíciles de manejar. En el caso de sistemas de anaerobios, en donde se produce biogás, en gran cantidad, igualmente se pueden formar espumas que interfieran con el funcionamiento normal del proceso. (Gilraldo, 2014)

5.6.2 Cantidad de los lixiviados.

La cantidad de los lixiviados en un relleno sanitario es un punto importante a considerar en el momento de la selección de la técnica de tratamiento. La cantidad de los lixiviados es función de tres variables principales: El área rellenada, la cantidad de infiltración que se permita, y el sistema drenaje, impermeabilidad. El área rellenada afecta porque es a través de ella que se realiza la entrada y el contacto del agua de infiltración con la basura. Al aumentar el área rellenada, aumenta paralelamente la cantidad de lixiviados. Teniendo en cuenta que los rellenos son sistemas que duran lustros y décadas, en su funcionamiento, igualmente se espera que la cantidad de lixiviados aumente. Este aumento es un aumento gradual, lento con los años. (Gilraldo, 2014)

Por otra parte, la cantidad de infiltración que se permita al relleno depende numerosas variables tales como: la operación que se le dé al relleno por ejemplo las desviaciones de aguas de escorrentía, la cantidad de precipitación directa que se tenga en la zona, y la presencia de infiltraciones subterráneas. Usualmente las variaciones en la producción de lixiviados asociados a las infiltraciones, son variaciones rápidas, asociadas a la lluvia.

Por último, los sistemas de drenaje e impermeabilización son importantes porque permiten que los lixiviados no contaminen los suelos y las aguas subterráneas y además que el lixiviado se produce en realidad se recoja y se permita su tratamiento. Las variaciones de los caudales de lixiviados afectan de manera diferente a los sistemas de tratamiento. Algunos sistemas pueden acomodar en su proceso de variaciones en caudal, sin afectar el rendimiento, mientras que otros no. Esto puede generar la necesidad de estructuras de almacenamiento y ecualización de caudales que afectan los costos del proceso. (Gilraldo, 2014)

5.6.3 Alternativas de tratamiento.

Una vez presentadas las principales características de los lixiviados que hay que tener en cuenta para su tratamiento.

Las alternativas del tratamiento se pueden categorizar de acuerdo a varias características como por ejemplo de acuerdo a los niveles de tratamiento que se logren con cada una de ellas, o por el tipo de contaminación que puedan remover. Todas las tecnologías que se utilizan para el tratamiento de aguas residuales se han probado para el tratamiento de los lixiviados de los rellenos sanitarios. (Gilraldo, 2014)

5.6.3.1 Procesos anaeróbicos.

Las tecnologías clásicas para la remoción de materia orgánica, que como el caso de los lixiviados es predominantemente materia orgánica disuelta, son los procesos biológicos de tratamiento. Para el caso de un lixiviado joven, en especial con alto contenido de MOFBD, los consecuentemente altos contenido de materia orgánica parecieran idealmente apropiados para la aplicación de los procesos anaeróbicos de tratamiento. Simples lagunas anaerobias, hasta los complicados sistemas de lecho fluidizado, pasando por filtros anaeróbicos y reactores UASB.

5.6.3.2 Procesos aeróbicos.

Los procesos aeróbicos al igual que los anaeróbicos han sido ampliamente estudiados para el tratamiento de los lixiviados de rellenos sanitarios. Existe experiencia con una gran variedad de tipos de sistemas, desde las tradicionales lagunas aireadas, hasta sofisticados sistemas que acoplan reactores biológicos con procesos de ultrafiltración con membranas. Se utilizan cuando se quiere obtener una baja concentración DBO en los efluentes. Se utilizan preferentemente como post-tratamiento a los sistemas anaeróbicos, o para lixiviados viejos con bajos niveles DBO. (Gilraldo, 2014)

5.6.3.3 Sistemas naturales.

Los sistemas naturales, lagunas y humedales artificiales, también se han propuesto como alternativas para el tratamiento de los lixiviados. Tiene la simplicidad en su operación, y la posibilidad de lograr diferentes niveles de tratamiento, desde un pretratamiento, hasta un tratamiento terciario en caso de necesitarse. La combinación de las lagunas y los humedales puede mejorar adecuadamente muchos de los problemas en otras tecnologías aparecen como son la acumulación de precipitados, la formación de espumas, la toxicidad de los microorganismos, y las variaciones de cargas hidráulicas y orgánicas. Esto se logra al tener tiempos de retención hidráulica muy altos y volúmenes de procesos igualmente grandes que permiten acomodar variaciones del caudal, acumulaciones de precipitaciones, junto con una baja producción de gases y por lo tanto de espumas. De punto de vista de los costos en valor presente, la tecnología ha probado ser muy competitiva al compararse con otras alternativas.

La principal desventaja que se tiene en estos sistemas es la cantidad de terreno que se requiere para localizar los procesos. Sin embargo, por la naturaleza misma de los diseños de los rellenos sanitarios, en donde hay necesidad de tener áreas de

amortiguamiento visual, de ruido, y de olores, estas áreas que usualmente están localizadas a los alrededores del relleno, podrían utilizarse como parte de los sistemas naturales de tratamiento; en especial en el caso de los humedales.

En el caso de los humedales artificiales, su aplicación en el tratamiento de lixiviados, es nueva con experiencias en los Estados Unidos y en Europa principalmente. (Gilraldo, 2014)

5.6.3.4 Evaporación.

La utilización de la evaporación como un sistema de tratamiento de lixiviados es una aplicación nueva, al igual que los humedales. En ella se utiliza la energía que se tiene en el biogás en el relleno sanitario en evaporar el lixiviado por calentamiento. Algunas de las tecnologías utilizan de manera directa la energía la energía que se genera al quemar el gas con el objetivo central de evaporar el lixiviado, lo que denomina evaporización del gas, mientras que en otras tecnologías pueden utilizar el calor residual que generan motores de combustión o turbinas, que utilizan el biogás para generar potencia mecánica, que a su vez se puede usar para generación energía eléctrica. De esta manera está logrando llevar a cabo no solamente el aprovechamiento del gas para conversión de la energía eléctrica, sino el tratamiento de los lixiviados, solucionando dos principales problemas en los rellenos sanitarios: emisiones de gases y de lixiviados. (Gilraldo, 2014)

5.6.3.5 Recirculación de lixiviados.

La recirculación de los lixiviados es una alternativa de tratamiento, se le conoce como la tecnología del biorreactor, se utiliza el relleno sanitario como un gran reactor anaerobio de tal manera que dentro del mismo se logre la conversión a metano de los ácidos grasos que están presentes en los lixiviados. Al recircular los lixiviados se logra un aumento en la humedad de los residuos dispuestos que a su vez genera un aumento de la tasa de producción de la tasa de producción de gas metano en el relleno. Cuando los ácidos grasos han sido metanizados, el pH del lixiviado aumenta

y la solubilidad de los metales disminuye de tal forma que se logra la disminución de los metales en solución que son transportados por los lixiviados con esto se logra la disminución de DBO como de los metales, esta tecnología se considera como pretratamiento. (Gilraldo, 2014)

5.6.3.6 Sistema de membranas.

La tecnología del tratamiento de aguas utilizando membranas es una tecnología de rápido desarrollo. Las membranas se utilizan para el tratamiento de todo tipo de efluentes, incluyendo los lixiviados de los rellenos sanitarios. Se aplica de la micro filtración, la ultrafiltración, la nanofiltración, la ósmosis inversas, la ósmosis directa, la pervaporación al tratamiento de los lixiviados, bien sea la manera directa, o acoplada u otro tipo de proceso de tratamiento. (Gilraldo, 2014)

6. Antecedentes.

En los últimos años los vehículos aéreos no tripulados, UAV por sus siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicle), o mejor conocidos como drones, han sido utilizados cada vez más para aplicaciones ingenieriles. (Cuerno, 2015), Estos equipos brindan varias ventajas con respecto a seguridad, eficacia y optimización de tiempos de trabajo, y pueden ser operados de forma remota, mediante un plan de vuelo reprogramado gracias al sistema de comunicación integrado y a la ayuda de un software especializado. (Pinto, 2018).

Los drones para estudios de ingeniería deben de contar con una cámara integrada, que permita realizar la toma de fotografías áreas que nos proporcionarán información para ser procesada y obtener datos de latitud, longitud y elevación. Con esta información será posible realizar mediciones después de su procesamiento, para generar un modelo digital de elevaciones. A este procedimiento es al que se le conoce como fotogrametría, una técnica que permite definir las formas, dimensiones

y la posición espacial de cualquier objeto utilizando medidas geométricas sobre las fotografías aéreas. (Quirós, 2014).

La fotogrametría aérea, georreferenciada con la toma de puntos de control en el lugar donde se realizará el vuelo, es procesada mediante un programa especializado para generar una nube de puntos, obteniendo ortofotos, modelos de digitales de elevación y modelos en tres dimensiones 3D de un área en estudio. (Hernández, 2006). Esta proyección ortogonal representa las propiedades geométricas de un plano, haciendo posible realizar mediciones exactas sobre las ortofotos y exportarlas a programas de diseño, modelación y análisis asistido, como el Auto CAD, Civil CAD o ArcGIS. (Saenz & Beltrá, 2015).

Los programas o softwares para realizar el procesamiento de las fotografías tomadas con el dron deben de contar con todas las herramientas necesarias que permitan trabajar con mayor precisión, rapidez y exactitud para que estos generen resultados confiables. (Mitsikostas, 2017). Entre los más usados se encuentran Pix4D, Agisoft Matashape o DroneDeploy, estos softwares requieren licencias pagadas para que puedan ser usados, pero también cuentan con periodos de prueba para evaluar sus funcionalidades. Existen programas de uso libre, que necesariamente deben ser utilizados con otros de codificación y se requiere conocimientos avanzados de informática para establecer resultados de calidad, por lo que estos no son utilizados para procesar trabajos de ingeniería con drones. (Martorell, 2018). En esta investigación se busca realizar un análisis con las versiones de prueba del programa Pix4D, ya que está comprobado su eficiencia de procesamiento de imágenes captadas con drones, tomando como caso de estudio a) el levantamiento de un relleno sanitario no regulado en la región de la ciudad de Morelia y b) un levantamiento tradicional del terreno con equipo de topografía. Para realizar un análisis comparativo en la determinación de áreas y volúmenes con estos dos equipos. Con ello se busca tener un fundamento bajo el cual poder respaldar los resultados y la posibilidad de realizar levantamientos de rellenos sanitarios no regulados, con drones.

6.1 Los drones encontrando su lugar en la Topografía.

El uso de drones, o vehículos aéreos no tripulados (UAV), es muy común en el mundo comercial y de consumo de hoy en día, la gama de opciones de productos y software continúa expandiéndose. El rápido desarrollo de la industria de drones está impulsando a muchas empresas de Topografía a explorar cómo aprovechar estas herramientas dentro de sus flujos de trabajo existentes para mejorar la productividad y reducir costos.

Al principio, las dificultades con el procesamiento de imágenes de drones surgieron que no podían cumplir con los altos estándares de mapeo de los Agrimensores; sin embargo, los avances en el software de Fotogrametría aérea permiten que los datos de drones, incluso cuando se recopilan con plataformas UVA de nivel de consumidor, utilicen con éxito para muchas aplicaciones.

6.2. Usos y aplicaciones de los drones.

A través de los años y con los avances tecnológicos las aplicaciones de los UAV se han desarrollado diferentes aplicaciones en varios campos, uno de ellos es la ingeniería civil. Algunas aplicaciones de estas aplicaciones son las siguientes:

- Inspección de infraestructuras como oleoductos, líneas de transmisión eléctrica, tuberías de conducción de agua para hidroeléctricas, entre otras obras civiles que pueden presentar un difícil acceso. (Reinoso, 2015)
- Monitoreo de desastres naturales evitando poner en riesgo de vidas humanas. (Bordallo & Burwitz.A., 2015)
- Levantamiento de información para realizar cartografía y topografía. Con el uso de drones en esta área es posible minimizar riesgos laborales, costos de equipos y tiempos de trabajo. (Saenz & Beltrá, 2015)

- Cálculos de superficies contaminadas en donde el contacto directo con el contaminante puede presentar un riesgo para la salud.
- Monitoreo de contaminación atmosférica con el uso de sensores ambientales integrados al UAV. (Ezcurra & Apocad, 2015)
- Agricultura de precisión y control de plagas mediante el uso de cámaras multiespectrales con sensores de calor. (Montesinos.S., 2015)
- Inspección de áreas protegidas y rastreo de especies sin afectar su entorno minimizando el impacto ambiental por actividades antropogénicas.
- Observación y monitoreo ambiental en zonas de contaminación química o nuclear a las cuales no pueden acceder personas.
- Cálculos de volumen de escombros, residuos orgánicos y minerales reciclables para lograr el máximo aprovechado de los mismo.
- Vigilancia de rellenos sanitarios para obtener información en un menor tiempo de su capacidad remanente, presencia de vectores y cálculo de residuos dispuestos.

6.3. Trabajos realizados.

- Evaluación de modelos de elevación derivados de fotometría por aeronaves remotamente pilotadas para el cálculo de áreas de inundación en zonas urbanas: el caso de estudio de la ciudad costera de Riohacha. (Caribe colombiano). (Escobar, Igleias, & Pérez, 2017).
- Empleo de la fotometría de rango cercano y RPAS para la determinación de biomasa en parcelas agrícolas. (Marcos, Sánchez, Gil, Ortiz, & Martínez, 2016).
- Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte. (Vázquez, 2017) .
- (Castro, 2018).

- Generación de un modelo de inundación del río pita identificando puntos críticos formados por la sedimentación, precipitaciones máximas y eventuales erupciones del volcán Cotopaxi, tramo Santa Teresa-San Rafael. (Gallegos, Bolaños, & Gustavo, 2018)
- Cuantificar la erosión real (no estimada) en volumen y masa de una unidad litológica en la Ladera en el valle de Yanhuitlán, Oaxaca. (Fernández, L., Palacio, Peralta, & García, 2008).
- Aplicación de la fotogrametría y modelación 3D en geología; El Granito de Cufre, Guerrero. (Guerrero & Faraone, 2018)
- Levantamiento Topográfico de vasos de almacenamiento con Vehículos Aéreos No Tripulados. (Pérez, Hernández, Flores, & Rivera, 2016).
- Cálculo de Volúmenes de una mina de piedra Caliza por Modelo 3D, Implementado Nuevas Tecnologías (Drones). (Coria, 2018)
- En agosto de 2017 en Veracruz, México se desarrolló un proyecto de clasificación y cuantificación de residuos plásticos en las playas de esta ciudad mediante el uso de drones. El proceso consiste en realizar un sobrevuelo por las orillas de las playas realizando capturas de imágenes con los UAV, estas imágenes son procesadas, se identifica y cuantifica el residuo PET en la zona evaluada. (Valis, 2017)



Figura 4 Imagen Boca del Río, Veracruz. (Agencia Informativa Canacyt)

7. Metodología

De acuerdo a estudios realizados anteriormente se propone la siguiente metodología que a continuación se describe:

7.1 Visita y Recorrido a la zona de estudio.

Es importante tener en cuenta que en este tipo de proyectos se necesita conocer el lugar, se mencionará los puntos más relevantes que deben de seguirse:

- a) Accesos más convenientes para llegar al lugar de estudio, para esto se debe recopilar información y tomar la ruta más adecuada.
- b) Analizar y definir cuál sería el mejor lugar para asignar como base del equipo de vuelo, que tenga las condiciones adecuadas.
- c) Designar el área que se va analizar, recopilar varias propuestas, para después determinar una definitiva.

7.2. Zona de estudio.

7.2.1 Topografía.

El municipio de Queréndaro cuenta al Norte con Planicies Acumulativas, abarcando un 15.39 % de la superficie del municipio. Al centro y Sur del municipio se tiene Regiones Volcánicas con el 84.61% de la superficie de estudio.

En las planicies Acumuladas, no se desarrollan pendientes importantes, y es en esta zona donde se desarrollan las actividades de agricultura.

En la Regiones Volcánicas, se presentan pendientes mayores al 30 % al 45 %, al Sur del Municipio.

También se encuentran pendientes que van del 15 % al 30% en la parte Sur y centro del municipio. En el Norte del municipio se tienen pendientes que oscilan entre 5 % al 15 % de pendiente. Las áreas con pendiente mínima que van del 0 % al 5 % y por su extensión territorial son las segundas con mayor presencia en el municipio. (México, 2011)

Geoforma	Área Ha	Área km ²	Porcentaje
Planicies Acumulativas	3,597.28	35.97	15.39
Regiones Volcánicas	19,783.82	197.84	84.61

Tabla 1. Distribución territorial para la Geomorfología, INEGI 2010.



Figura 5. Topografía Queréndaro (INEGI).

7.2.2 Clima.

Rango de temperatura: 10 – 22 °C

Rango de precipitación: 600 – 1500 mm.

Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (67.65%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (20.76%), semifrío

húmedo con abundantes lluvias en verano (5.53%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (4.70%) y templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (1.36%). (INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos., 2009)

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
TEMPERATURA °C	13.5	16.5	18	21	22	20	20	20	17.5	17	15.5	13.5
PRECIPITACIÓN mm	11.933	31.25	5.65	6.867	29.88	86.915	209.555	124.367	68.25	35.417	11	3.15

Figura 6. Fuente: página. clicom-mex.cicese.mx/estación Álvaro Obregón, Mich.

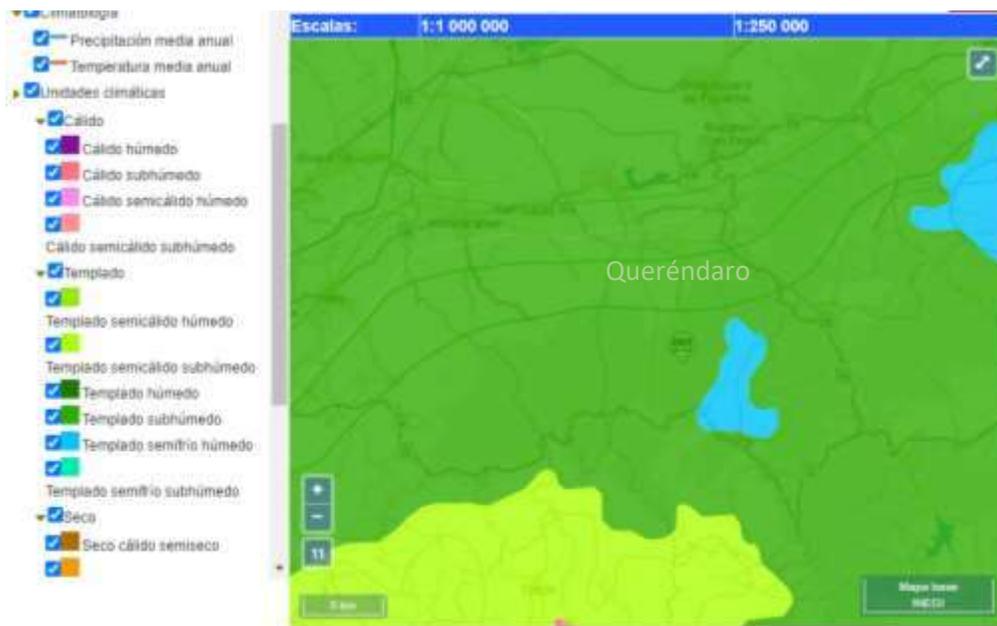


Figura 7. Clima Queréndaro (INEGI).

7.2.3 Geología

Roca: Ígnea extrusiva: andesita-brecha volcánica intermedia (22.15%), andesita (17.16%), brecha volcánica intermedia (16.77%), dacita-toba ácida (9.73%), volcanoplástica (6.53%), basalto (5.70%), toba ácida (2.93%), brecha volcánica básica (1.87%) y basalto-brecha volcánica básica (1.52%). (INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos., 2009)

Suelo: Lacustre (12.23%) y aluvial (1.04%).



Figura 8. Geología de Queréndaro (INEGI).

7.2.4 Edafología

Suelo dominante: Luvisol (41.37%), Leptosol (18.20), Vertisol (15.48%), Fluvisol (10.47%), Andosol (7.37%), Regosol (4.04%) y Phaeozem (0.70%). (INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos., 2009)



Figura 9. Edafología Queréndaro (INEGI).

7.2.5 Hidrología

Región hidrológica: Lerma-Santiago (68.62%) y Balsas (31.38%).

Cuenca: L. de Pátzcuaro-Cuitzeo y L. de Yuriria (68.62%) y R. Cutzamala (31.38%).

Subcuenca: L. de Pátzcuaro (68.62%), R. Purungeo (30.70%) y R. Tuxpan (0.68%).

Corrientes de agua: Pérenne Zinapécuaro; Intermitentes: El Muerto, Frio, Querénado, Piedra Labrada, La Laja, Ojo de Agua Grande, El Real y La Purisima.

Cuerpos de agua: Perenne (0.26%): Malpaís (INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos., 2009).



Figura 10. Hidrología Queréndaro (INEGI).

7.2.6 Uso del suelo y vegetación.

Uso de suelo: Agricultura (25.14%) y Zona urbana (2.11%).

Vegetación: Bosque (64.77%), Selva (4.31%), Tular (2.92%) y Pastizal (0.49%).
(INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos., 2009)



Figura 11. Uso de Suelo y vegetación Queréndaro (INEGI).

7.2.7 Uso potencial de la tierra.

Agrícola: Para la agricultura mecanizada continua (4.08%); Para la agricultura con tracción animal estacional (19.68%); no apta para la agricultura (76.24%).

Pecuario: Para el desarrollo de praderas cultivadas (4.08%); para aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal (19.68%); para el aprovechamiento de la vegetación natural únicamente por ganado caprino (73.87%); y no aptas para el uso pecuario (2.37%). (INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos., 2009)

7.2.8 Sol.

En 2020, el día más corto es el *21 de diciembre*, con *10 horas y 56 minutos* de luz natural; el día más largo es el *20 de junio*, con *13 horas y 20 minutos* de luz natural. (weatherspark, 2020)



Figura 12. Cantidad de horas durante las cuales el sol está visible (weatherspark).

7.2.9 Viento.

El viento con más frecuencia viene del *este* durante 5,9 meses, del 8 de junio al 6 de diciembre, con un porcentaje máximo del 57 % en 21 de septiembre. El viento con más frecuencia viene del *sur* durante 6,1 meses, del 6 de diciembre al 8 de junio, con un porcentaje máximo del 38 % en 1 de enero. (weatherspark, 2020)



Figura 13. Promedio de la velocidad de la velocidad media del viento por hora (weatherspark).

7.3 Levantamiento topográfico.

Para realizar el estudio se eligió el tiradero a cielo abierto que se encuentra en el municipio de Queréndaro, Michoacán. Que se encuentra entre los paralelos $19^{\circ} 35'$ y $19^{\circ} 51'$ de latitud norte; los meridianos $100^{\circ} 45'$ y $100^{\circ} 58'$ de longitud oeste; altitud entre 1 500 y 3 100. (INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Queréndaro, Michoacán de Ocampo., 2009)

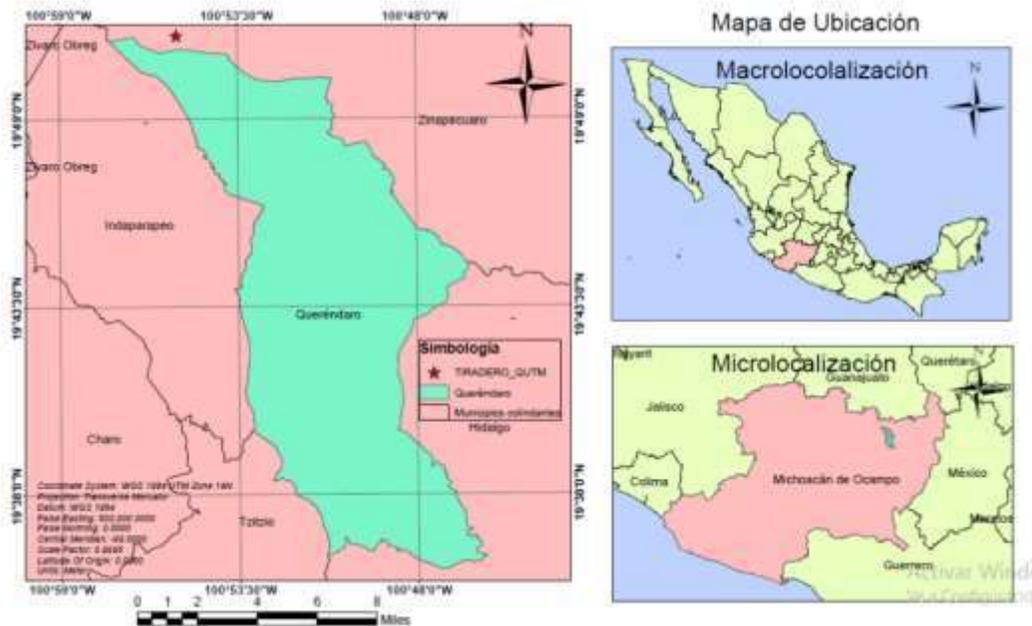


Figura 14. Mapa de Ubicación del tiradero clandestino del municipio de Queréndaro, Mich.

El tiradero a cielo abierto se encuentra en las coordenadas $19^{\circ}51'27''$ N y $100^{\circ}55'22''$ W, estando dentro de los límites del municipio de Zinápecuaro.

De acuerdo a visitas y recorridos de la zona de estudio se determinó realizar trabajos de topografía con el fin de dar el seguimiento apropiado para la obtención de datos que nos ayudaran a obtener la base para nuestro cálculo, objeto de estudio de esta investigación.

Una vez en el lugar se determinó iniciar los trabajos correspondientes para la obtención de datos, realizando el levantamiento topográfico correspondiente del área de estudio, lo anterior se compone de dos etapas fundamentales:

7.3.1 Trabajo de campo.

Trabajo de campo, que es la recopilación de los datos: Esta recopilación fundamentalmente consiste en medir, mediante el uso del equipo topográfico, las coordenadas (x, y, y z) de los puntos del terreno los cuales son una representación fiel de la topografía del lugar. Así como también ubicar los Puntos de Referencia y/o Puntos de Control.

Para comenzar el levantamiento topográfico se inicia con el procedimiento de montaje de la Estación Total, lo cual consta con la selección y marcado del punto topográfico llamado Estación o Punto de Control Topográfico, el centrado del equipo, así como también la nivelación del equipo. Ya centrado y nivelado el equipo se comienza a realizar el levantamiento topográfico.

Para realizar este levantamiento se utilizó una Estación Total, marca Geo Sourth, con las siguientes especificaciones técnicas:



Figura 15. Estación Total Geo-South.

MEDICION DE DISTANCIAS

Sistema EDM: Laser Clase 3R

Con Un Prisma: 5,000 m.

Con Tarjeta Reflectiva 600 m.

Sin Prisma(con Laser): 600 m.

Tiempo de Medición

Con Prisma: Tracking 0.1s, Fino 0.3s

Con Tarjeta Reflectiva 0.3s

Sin Prisma(con Laser): 0.3-3s

Corrección Atmosférica: Auto

Corrección: Constante de

Prisma: Entrada Manual

MEDICION DE ÁNGULO

Método de Medición : Absoluto

Continuo

Codificador de disco : 79mm

Lectura Mínima: 1" / 5"

Precisión: 2"

Método de detección Horizontal: Dual – Vertical

TELESCOPIO

Imagen: Directa

Longitud: 154mm

Apertura Efectiva: 45mm,
(EDM:50mm)

Aumento: 30x

Campo de Visión: 1° 30´

Enfoque Mínimo: 3"

Enfoque Mínimo de Distancia: 1.4m

COMPENSADOR

Sistema: Eje Dual

Liquido-Eléctrico

Rango de Trabajo: +-4´

Precisión: 1"

7.3.2 Puntos de Control.

Son las coordenadas tomadas con una estación total que van a ser utilizadas como puntos de apoyo, y servirán a definir el sistema de referencia de representación, y con esto obtener una georreferenciación de cada imagen tomada.

El día 9 de junio de 2019 realizó el levantamiento topográfico en la localidad de Pueblo Viejo del municipio de Queréndaro, Michoacán, de las 9:30 am a las 13:00 hrs, con un clima soleado, lo cual permitió que se pudieran realizar los trabajos respectivos para el levantamiento topográfico.

Se comenzó el levantamiento topográfico con la ubicación de los Puntos de Referencia con el trazo y materialización de los puntos en campo. Teniendo en cuenta que estos Puntos deben ser colocados en lugares visibles y en lugares de fácil ubicación, de ser posible en lugares inamovibles, porque posteriormente se necesitarán para levantamientos topográficos posteriores.

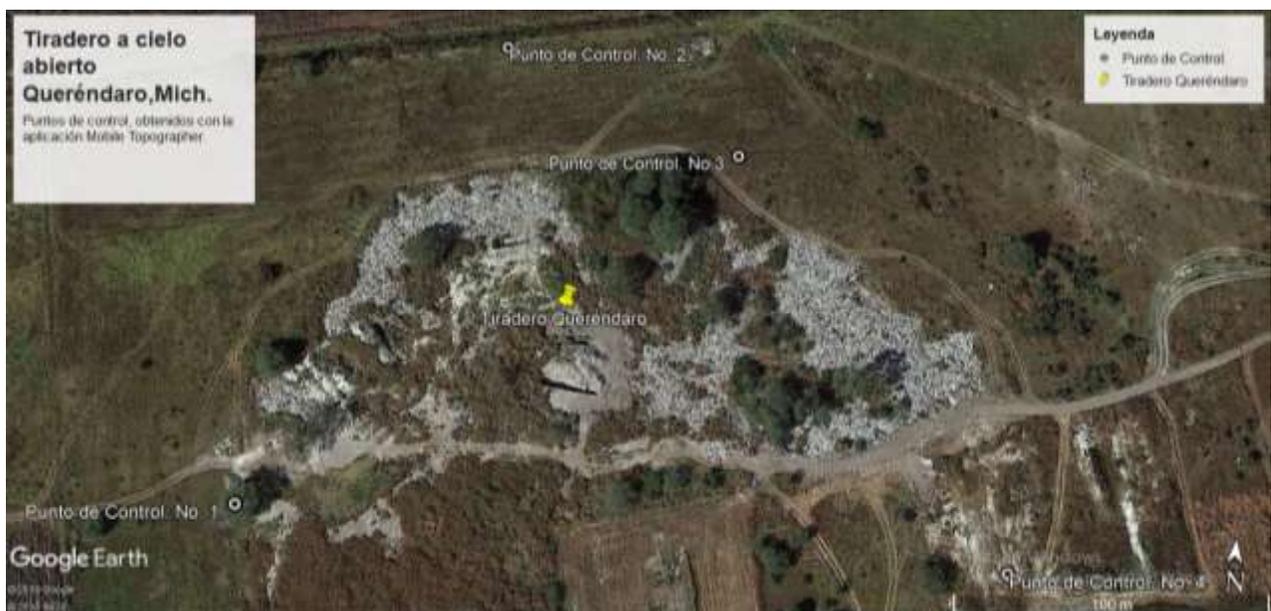


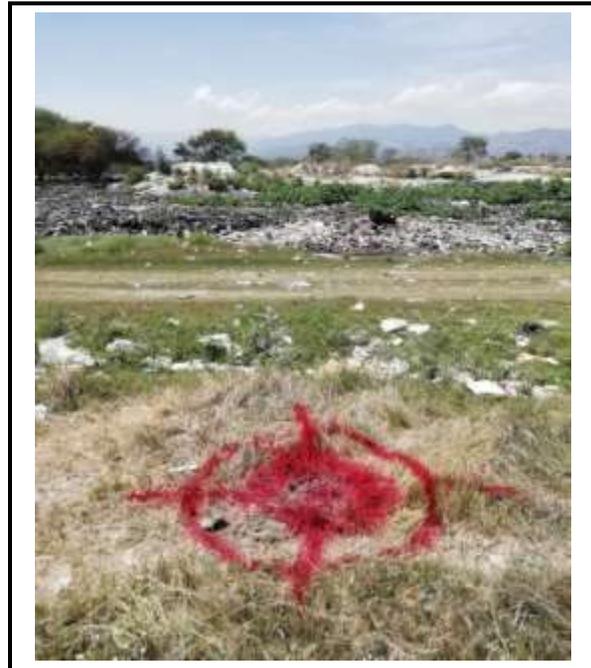
Figura 16. Ubicación geográfica de los puntos de control. (Google Earth).

No.	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Descripción
1	298 526.930 m	2 196 808.969 m	1823.90 m	Se localiza al sur-oeste del predio a 1.5 metros de un árbol, se caracteriza por un una varilla de 3/8" in incida en el lugar y pintada de color rojo.
2	298 597.887 m	2 969 973.456 m	1825.89 m	Se localiza Noreste del predio, sobre un hombro del canal, se caracteriza por una varilla de 3/8" in con pintura de color rojo.
3	298681.00 m	2196939.00 m	1826.69 m	Se localiza al Noreste del predio, sobre terreno natural, se caracteriza por una estaca de madera con un clavo, pintada de color rojo.
4	298775.00 m	2196806.00 m	1826.89 m	Se localiza al Sureste del predio, incada sobre terreno natural, se caracteriza con una estaca de madera con un clavo, pintada de color rojo.

Tabla 2. Coordenadas de Puntos de Control.



Punto de Control No. 1. Ubicado al S-W del predio.



Punto de Control No. 2. Ubicado al N-O del predio.



Punto de Control No. 3. Ubicado al N-E del predio.



Punto de Control No. 4. Ubicado al S-E del predio.

7.3.4 Anotaciones en la libreta de tránsito.

Cuando se realiza un levantamiento topográfico es necesario llevar todas las anotaciones en una libreta de tránsito, que servirán en el momento de hacer el trabajo de gabinete o de oficina, ya que esto ayudará como base al inicio de representar nuestros datos digitalmente y para comprobar que los datos obtenidos son idénticos a la realidad.

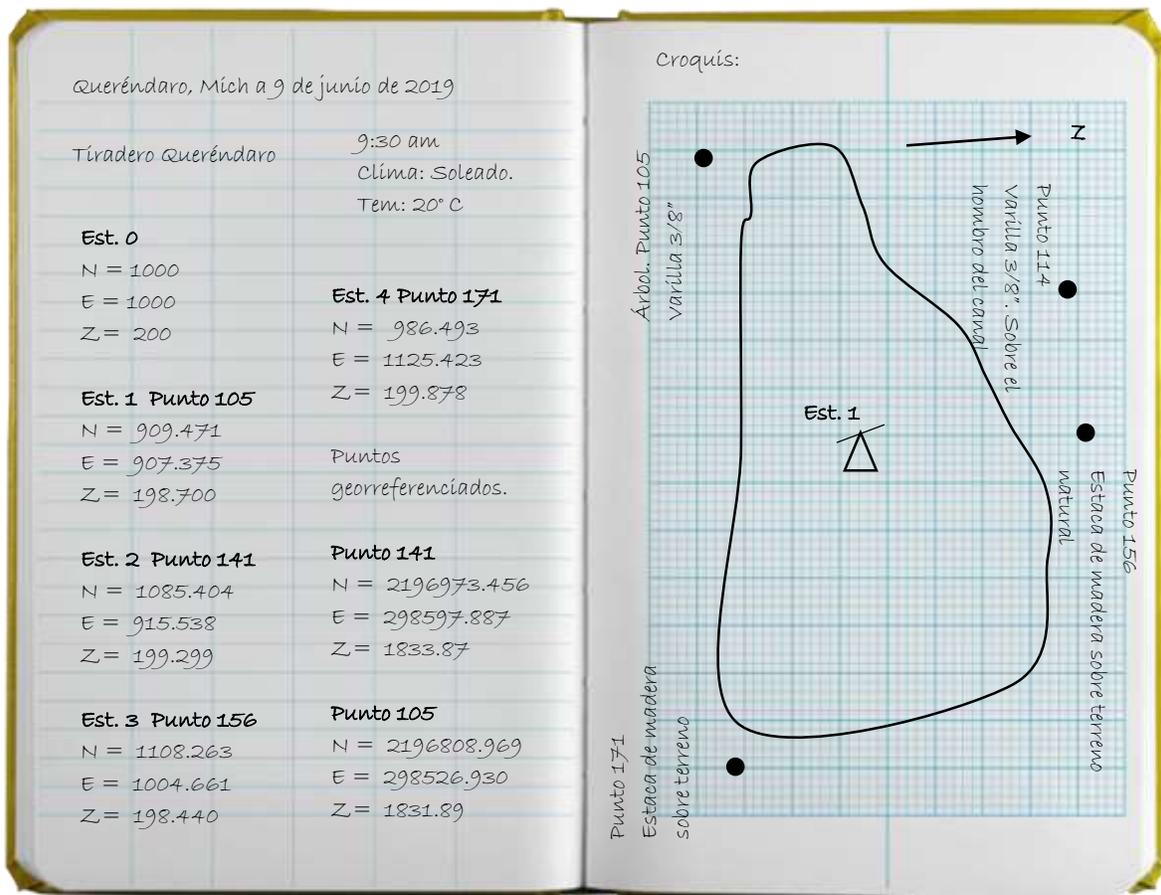


Figura 17. Anotaciones en libreta de tránsito.

7.4. Fotogrametría.

7.4.1 Planificación del vuelo.

Para la ejecución del vuelo fotogramétrico hay que hacer una planificación del mismo de forma que, a partir de una resolución fijada y teniendo en cuenta las características del equipo fotográfico, se determinen altura de desplante y velocidad del vuelo, así como tiempos de disparo y distancias entre pasadas para asegurar los recubrimientos fotográficos necesarios para su posterior tratamiento. Así mismo se tendrá que verificar el sitio para que no se tenga algún tipo de interferencia que puedan afectar el funcionamiento del drone.

1. Ubicar el punto donde se va hacer el despegue del drone, debe ser un lugar libre de vegetación y lo más estable posible. Se debe tomar en cuenta que las zonas con vegetación pueden afectar el modelamiento.
2. Se realizará el plan de vuelo de una manera estratégica para cubrir el área deseada.
3. Se efectuará el vuelo definitivo, el levantamiento fotográfico que en su momento se va a procesar.

7.4.2 Procesamiento de información del levantamiento.

El procesamiento de las imágenes tomadas se realizará con el programa Pix4D. Ya que con ayuda de este software se pueden combinar miles de imágenes aéreas tomadas por vehículos aéreos no tripulados u otro tipo convencional de aeronave para crear precisos mapas profesionales en 2D y modelos 3D. (Gonos Topografía Sl., 2017)

7.4.2.1 Proceso inicial.

El proceso inicial es el paso donde se genera la nube de puntos dispersos.

7.4.2.2 Nube de Puntos y malla.

En el segundo paso del procesamiento con este programa se incrementa la densidad de puntos dispersos creada en el proceso inicial. La malla de textura sirve para tener una visualización más clara del proyecto en tres dimensiones, lo cual es muy útil para el momento de realizar cálculos de volúmenes sobre el terreno.

7.4.2.3 Modelo digital de elevaciones.

El último paso del procesamiento es en donde se genera el modelo digital de superficie, el modelo digital de elevaciones, el ortomosaico y las curvas de nivel obtenidas a partir del modelo digital de elevaciones.

7.4.3 Proceso del cálculo.

El proceso de cálculo comienza a partir de la identificación automática de puntos homólogos entre fotogramas y de los puntos de control observados, una vez obtenido el modelo 3D del área en estudio, lo que prosigue es el cálculo de volúmenes, con el uso del software, teniendo la seguridad que conoceremos la cantidad precisa de residuos sólidos con esta técnica.

7.5 Determinación del volumen de los residuos sólidos de la zona de estudio mediante fotogrametría con drones.

Una vez realizado el cálculo de volumen mediante el levantamiento topográfico, se realiza el levantamiento fotogramétrico haciendo el vuelo con el dron en la zona de estudio, utilizando el software Agisoft Metashape profesional para realizar el cálculo del área y volumen siguiendo la siguiente metodología.

7.5.1 Trabajo de campo.

Como primer paso se hace uso de la aplicación móvil DroneDeploy, para la visualización de la superficie a levantar y realizar el plan de vuelo en el área de estudio.

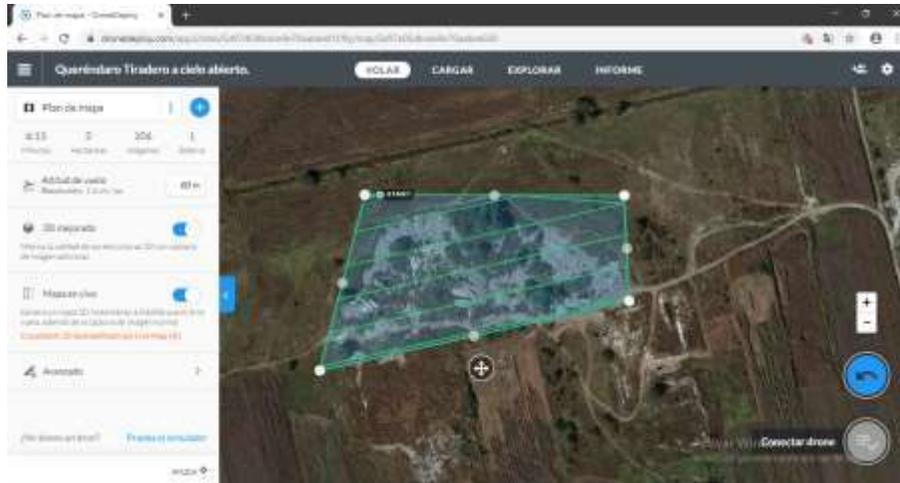


Figura 18. Plan de vuelo en DroneDeploy.

7.6 Generación de Lixiviados.

7.6.1 Estimación de la producción de lixiviados.

Para determinar la cantidad de agua a infiltrarse en el suelo en forma de lixiviado o líquido percolado contaminante, después de haberse percolado a través de los residuos sólidos del tiradero a cielo abierto del municipio de Queréndaro, Michoacán, se aplicará el Método de Balance de Agua desarrollado por C.W. Thornthwaite.

El método anterior se basa en la evaluación empírica de la evapotranspiración potencial mensual. Después se realiza el cálculo de la evapotranspiración real mensual, partiendo de las estimaciones de la evaluación de la cantidad máxima de agua almacenada en el suelo antes de que suceda la percolación.

Para la aplicación del método se requiere información de los promedios mensuales de las precipitaciones temperaturas, de una estación climatológica próxima al lugar de estudio.

Id:	16091
Estación:	ALVARO OBREGON (DGE)-MICH
Posición:	19.8233333333N -101.033888889W
Variable:	Precipitación (mm)
Fecha Inicial:	10/01/1966
Fecha Final:	08/01/2015
No Dato:	nan

Fuente: página. clicom-mex.cicese.mx/estación Álvaro Obregón, Mich.

El cálculo del balance de agua, se realiza con la siguiente secuencia:

- a) Determinación de la evapotranspiración mensual potencial corregida, a partir de las temperaturas promedio mensuales; Tabla 7

$$EP_j = 1.6(10 T_j)\alpha$$

$$ij = \left(\frac{T_j}{5}\right) 1.514$$

$$I = \sum_1^{12} ij$$

$$\alpha = 0.49239 + 1792 \times 10^{-5} (I) - 771 \times 10^{-7} (I^2) + 675 \times 10^{-9} (I^3)$$

Dónde:

EP_j: Evapotranspiración potencial mensual sin corregir, en cm.

T_j: Temperatura media mensual, en °C.

I: Sumatoria de los índices mensuales de calor, (adimensional).

ij: índice mensual de calor, (adimensional).

α: Coeficiente adimensional que está en función de la sumatoria de los índices mensuales de calor.

J: No. del mes considerado.

Además, los valores de “EPj” para cada mes, se corrigen por medio de un coeficiente mensual “K”, que toma en cuenta el número de días y el número real de horas entre la salida y la puesta de Sol. Tabla 8.

$$K = \left(\frac{N}{12}\right) \times \left(\frac{d}{30}\right)$$

N = número máximo de horas de Sol, según la latitud del lugar.

d = número de días del mes.

Calculo de la humedad potencial de infiltración mensual, realizando el siguiente balance para cada uno de los meses del año: Tabla 9.

$$IPj = (Pj - (CEj * Pj)) - EPj$$

Dónde:

IPj: Humedad potencial de infiltración mensual, en mm.

Pj: Precipitación media mensual, en mm.

CEj: Coeficiente de escurrimiento mensual, (adimensional).

Cuando se realiza el balance de agua se toman las siguientes consideraciones:

c.1. Cuando la precipitación mensual es igual o superior a la evapotranspiración potencial mensual, se producirá un exceso en el aporte de agua a la cubierta de suelo; exceso que al ser absorbido alimentará la reserva de agua almacenada por el mismo suelo.

c.2. Si la altura de precipitación mensual es inferior a la evapotranspiración potencial mensual, sucederá que la evapotranspiración real consumirá totalmente la precipitación, generándose un déficit el cual es cubierto con las reservas de agua del suelo, hasta su agotamiento. Si la reserva del suelo es suficiente para satisfacer dicho déficit, la evapotranspiración real será igual a la evapotranspiración a la

evapotranspiración potencial, por lo que cae dentro de la consideración anterior; mientras que si, por el contrario, la reserva del suelo resulta ser insuficiente, la evapotranspiración real queda ligada a las precipitaciones mensuales, agotándose las reservas de suelo y generándose, por tanto, un déficit en el almacenamiento de agua en el suelo.

Con la metodología ya descrita, se realizará el balance de agua con la siguiente información: Tabla 10.

MES	Precipitación media mensual (mm)	Temperatura °C
ENERO	11.933	13.5
FEBRERO	31.250	16.5
MARZO	5.650	18
ABRIL	6.867	21
MAYO	29.880	22
JUNIO	86.915	20
JULIO	209.555	20
AGOSTO	124.367	20
SEPTIEMBRE	68.250	17.5
OCTUBRE	35.417	17
NOVIEMBRE	11.000	15.5
DICIEMBRE	3.150	13.5
Anual	624.234	214.500

Fuente: página. clicom-mex.cicese.mx/estación Álvaro Obregón, Mich.

Tabla 3. Climatología del lugar.

8. Resultados y discusiones.

8.1 Coordenadas obtenidas con la Estación Total.

El trabajo de gabinete o de oficina, que consiste en el cálculo de volumen de los residuos sólidos existentes en el tiradero clandestino del municipio de Queréndaro, mediante las posiciones de los puntos medidos, obtenidos en el levantamiento topográfico y el dibujo de los mismos sobre un plano.

Una vez ubicados los puntos de referencia se comienza a obtener los puntos del terreno, los cuales nos proporcionan información 3D del terreno, que son No. De punto, Y (coordenada en Norte o Sur), X (coordenada en Este u Oeste), Z (alturas) y cada punto tiene una descripción para saber de qué se trata, un árbol, terreno natural, un poste, etc.

A continuación, se muestra la tabla de las coordenadas obtenidas con la Estación Total:

No	Y	X	Z	Descripción
1	1000	1000	200	EST
0	999.693	1002.95	199.708	N
100	1023.079	972.78	199.307	T
101	1023.08	972.78	199.213	T
102	1023.08	972.78	198.815	T
103	1023.079	972.78	199.513	T
104	1023.079	972.78	198.812	TN
105	907.375	909.471	198.78	EST
106	1066.431	994.569	198.285	TN
107	1068.076	991.328	198.339	TN
108	1056.117	986.207	198.324	TN
109	1054.695	989.495	198.286	TN
110	1042.163	985.913	198.364	TN
111	1043.369	981.767	198.339	TN
112	1030.419	979.523	199.01	TN
113	1028.777	984.476	198.73	TN

114	1018.429	976.196	198.853	TN
115	1015.422	980.794	198.977	TN
116	1004.911	972.207	198.714	TN
117	1007.95	968.156	198.676	TN
118	996.27	962.321	198.681	TN
119	994.385	966.28	198.64	TN
120	1000.756	956.766	198.925	TN
121	986.682	958.71	198.619	TN
122	985.75	963.229	198.552	TN
123	987.853	949.588	198.724	TN
124	974.245	952.379	198.622	TN
125	972.828	955.842	198.612	TN
126	880.752	923.463	198.394	TN
127	963.528	949.165	198.744	TN
128	873.032	933.178	198.37	TN
129	962.422	953.641	198.666	TN
130	864.866	949.314	198.393	TN
131	965.115	943.355	198.739	TN
132	953.083	945.254	198.445	TN
133	951.48	948.986	198.429	TN
134	943.343	937.717	198.438	TN
135	940.446	941.169	198.359	TN
136	856.066	966.83	198.443	TN
137	931.674	931.321	198.134	TN
138	855.482	988.315	198.376	TN
139	933.572	928.159	198.252	TN
140	866.606	998.443	198.306	TN
141	915.538	1085.404	199.299	TN
142	891.326	1020.945	198.312	TN
143	922.518	921.898	198.321	TN
144	921.018	926.784	198.324	TN
145	874.076	999.339	198.485	TN
146	910.935	918.745	198.242	TN
147	880.779	987.413	198.973	TN
148	909.721	923.057	198.298	TN
149	887.897	977.379	198.674	TN
150	898.422	918.684	198.337	TN
151	893.361	966.535	198.365	TN
152	893.371	966.509	198.337	TN
153	901.319	921.031	198.408	TN
154	903.262	915.122	198.325	TN

155	905.359	948.411	199.076	TN
156	1004.661	1108.263	198.44	EST
157	911.143	939.08	198.283	TM
158	921.888	929.732	198.331	TM
159	937.587	939.13	198.275	TM
160	937.589	939.131	198.276	TM
161	931.272	948.466	198.326	TM
162	926.123	960.09	198.666	TM
163	997.544	1103.839	198.366	TM
164	917.418	972.258	198.837	TM
165	998.7	1107.157	198.331	TM
166	913.72	982.393	198.583	TM
167	1009.656	1101.634	198.373	TM
168	908.134	992.182	198.595	TM
169	1009.193	1098.697	198.379	TM
170	1020.868	1095.758	198.353	TM
171	1125.423	986.493	199.878	EST
172	902.722	1004.427	198.64	TN
173	1021.863	1098.978	198.449	TN
174	1031.532	1096.705	198.491	TN
175	1030.307	1093.336	198.419	TN
176	892.964	1020.213	198.363	TN
177	1042.593	1091.579	198.429	TN
178	1044.429	1097.64	198.246	TN
179	1047.855	1090.813	198.412	TN
180	1050.41	1095.554	198.423	TN
181	1086.49	1084.756	198.461	TN
182	1081.33	1078.592	198.413	TN
183	903.612	1034.431	200.811	TN
184	1107.249	1062.313	198.466	TN
185	913.491	1024.82	198.454	TN
186	1007.542	978.076	199.098	TN
187	922.361	1016.751	199.164	TN
188	1001.412	989.053	198.66	TN
189	929.865	1011.011	198.425	TN
190	932.646	1001.639	198.701	TN
191	991.75	1009.414	198.495	TN
192	937.374	994.928	198.414	TN
193	987.835	1020.225	198.438	TN
194	941.785	998.647	199.981	TN
195	945.524	1000.993	199.845	TN

196	982.09	1033.022	198.507	TN
197	949.752	1001.862	200.072	TN
198	979.838	1046.765	198.451	TN
199	957.438	1003.556	199.432	TN
200	977.816	1060.036	198.596	TN
201	955.641	1007.749	199.593	TN
202	954.637	1010.057	198.886	TN
203	973.612	1071.411	198.285	TN
204	952.515	1013.245	199.935	TN
205	951.663	1016.164	199.318	TN
206	968.826	1083.748	198.464	TN
207	948.372	1019.521	200.685	TN
208	961.86	1096.424	198.387	TN
209	946.161	1021.977	200.281	TN
210	943.059	1023.837	199.348	TN
211	933.113	1031.097	199.278	TN
212	928.605	1034.439	198.204	TN
213	922.206	1049.03	198.423	TN
214	1006.669	1002.666	198.445	TN
215	1002.89	1008.87	198.514	TN
216	1013.081	991.292	198.339	TN
217	998.331	1018.686	198.882	TN
218	1019.688	982.83	199.052	TN
219	993.452	1030.332	198.555	TN
220	1029.454	987.249	198.533	TN
221	983.789	1043.193	198.482	TN
222	1024.547	995.79	198.425	TN
223	975.741	1057.243	198.411	TN
224	1016.189	1007.879	198.484	TN
225	967.314	1067.358	198.42	TN
226	1030.166	1016.359	198.362	TN
227	960.842	1080.608	198.431	TN
228	1034.643	1008.577	198.601	TN
229	954.345	1093.686	198.432	TN
230	1043.769	1002.124	198.443	TN
231	974.721	1102.693	198.375	TN
232	1056.499	996.465	198.506	TN
233	978.318	1089.83	198.543	TN
234	982.151	1073.938	198.322	TN
235	988.817	1057.576	198.46	TN
236	1002.205	1062.479	198.822	TN

237	1013.972	1053.933	198.557	TN
238	1006.924	1042.613	198.429	TN
239	1016.865	1035.709	198.495	TN
240	1020.575	1033.45	198.444	TN
241	1029.281	1044.273	198.513	TN
242	1021.952	1023.575	198.491	TN
243	1039.864	1057.024	198.676	TN
244	1028.464	1018.213	198.366	TN
245	1024.945	1075.556	198.799	TN
246	1016.044	1010.893	199.229	TN
247	1012.186	1083.962	198.566	TN
248	1011.204	1008.649	199.821	TN
249	1040.879	1084.498	198.465	TN
250	1001.575	1003.965	199.523	TN
251	1065.725	1070.136	198.57	TN
252	987.07	995.117	200.275	TN
253	977.763	988.734	199.714	TN
254	1087.46	1084.838	198.469	TN
255	1100.127	1076.39	198.502	TN
256	1095.34	1070.052	198.463	TN
257	1086.702	1058.866	198.655	TN
258	1078.484	1048.148	198.654	TN
259	1070.75	1040.029	198.703	TN
260	1062.989	1031.722	198.534	TN
261	1054.737	1020.001	198.506	TN
262	1076.45	1038.768	198.626	TN
263	1084.093	1047.994	198.451	TN
264	1093.652	1054.092	198.468	TN
265	1106.437	1062.421	198.449	TN
266	1110.962	1067.825	198.503	TN
267	1122.267	1061.256	198.542	TN
268	1117.605	1056.345	198.424	TN
269	1109.029	1047.778	198.459	TN
270	1099.473	1040.45	198.522	TN
271	1106.575	1043.137	198.369	TN
272	1114.756	1050.131	198.524	TN
273	1124.259	1053.497	198.457	TN
274	1129.437	1055.298	198.42	TN
275	1138.072	1054.115	198.381	TN
276	1127.661	1050.441	198.471	TN
277	1078.821	996.327	198.4	TN

278	1077.23	999.605	198.286	TN
279	1085.333	999.29	198.371	TN
280	1093.826	1006.044	198.421	TN
281	987.101	1025.573	198.798	ARB
282	985.397	1019.606	199.532	ARB
283	983.057	1049.23	199.189	ARB
284	986.548	1065.431	200.031	ARB
285	995.882	1050.857	199.606	ARB
286	981.644	1060.558	199.577	ARB
287	1018.449	1029.384	200.986	ARB
288	1075.324	1027.981	202.186	ARB
289	1051.076	1010.016	202.512	ARB
290	990.592	969.582	199.293	ARB
291	906.888	908.07	199.07	ARB
292	915.744	931.33	198.785	ARB
293	918.206	942.792	198.951	ARB
294	965.161	978.217	200.859	ARB
295	895.24	953.407	201.131	ARB
296	925.137	1002.214	201.128	ARB
297	922.493	1006.331	202.075	ARB
141	915.538	1085.404	199.299	EST
156	1004.661	1108.263	198.44	EST
300	860.308	988.216	198.505	BAS
301	856.98	983.191	198.511	BAS
302	864.053	980.787	199.042	BAS
303	860.065	976.774	198.739	BAS
304	865.035	977.02	199.078	BAS
305	861.866	973.57	198.875	BAS
306	867.271	973.671	198.85	BAS
307	863.649	971.034	199.353	BAS
308	869.06	970.815	198.881	BAS
309	865.518	967.523	198.724	BAS
310	869.886	965.372	198.724	BAS
311	867.17	962.127	198.7	BAS
312	868.594	956.859	198.832	BAS
313	871.895	959.648	198.968	BAS
314	874.349	952.41	198.542	BAS
315	869.846	950.1	198.941	BAS
316	874.983	946.334	198.948	BAS
317	870.743	943.037	198.858	BAS
318	875.201	942.406	198.894	BAS

319	872.653	938.151	198.666	BAS
320	875.962	940.447	198.441	BAS
321	873.978	934.975	198.432	BAS
322	884.707	945.468	198.495	BAS
323	880.544	943.098	198.615	BAS
324	884.608	948.873	198.995	BAS
325	880.191	946.609	199.047	BAS
326	884.55	954.343	198.709	BAS
327	879.121	953.214	198.544	BAS
328	884.162	960.52	198.774	BAS
329	878.792	958.791	198.827	BAS
330	884.798	965.59	198.874	BAS
331	878.648	965.335	198.829	BAS
332	886.055	972.006	198.448	BAS
333	880.118	972.506	198.585	BAS
334	887.026	978.355	198.676	BAS
335	881.237	978.036	198.475	BAS
336	887.465	984.505	199.095	BAS
337	880.908	984.682	198.789	BAS
338	885.172	993.091	198.705	BAS
339	878.724	989.862	198.991	BAS
340	884.22	999.97	198.615	BAS
341	875.337	995.54	198.798	BAS
342	879.815	1003.469	198.726	BAS
343	873.677	999.519	198.429	BAS
344	879.614	1006.781	198.655	BAS
345	871.901	1001.379	198.313	BAS
346	878.925	1008.911	198.393	BAS
347	883.032	1011.803	198.405	BAS
348	887.854	1015.839	198.433	BAS
349	886.246	1005.582	198.596	BAS
350	892.833	1010.84	198.762	BAS
351	888.482	998.499	198.598	BAS
352	896.719	1005.374	198.558	BAS
353	891.173	993.72	198.958	BAS
354	900.051	1000.668	198.722	BAS
355	895.938	987.181	198.87	BAS
356	902.12	994.769	198.817	BAS
357	899.68	980.961	198.598	BAS
358	906.56	989.239	198.603	BAS
359	903.574	975.757	198.636	BAS

360	911.297	985.795	199.16	BAS
361	906.184	971.303	198.962	BAS
362	915.331	982.252	198.521	BAS
363	909.939	967.675	198.608	BAS
364	917.447	975.645	198.773	BAS
365	925.994	974.626	198.469	BAS
366	927.886	982.108	198.371	BAS
367	923.089	980.044	198.757	BAS
368	920.172	988.414	199.069	BAS
369	925.853	989.212	198.651	BAS
370	917.862	996.983	198.318	BAS
371	923.36	999.131	198.484	BAS
372	912.383	1005.37	198.528	BAS
373	920.874	1007.515	198.519	BAS
374	908.307	1014.521	198.687	BAS
375	916.296	1016.442	198.721	BAS
376	905.377	1022.101	198.395	BAS
377	912.455	1023.578	198.539	BAS
378	902.568	1027.686	198.611	BAS
379	908.567	1031.382	198.538	BAS
380	900.462	1032.648	198.714	BAS
381	906.304	1036.053	198.65	BAS
382	899.321	1034.314	198.344	BAS
383	904.885	1039.211	198.649	BAS
384	902.45	1040.437	198.417	BAS
385	908.159	1048.566	198.461	BAS
386	911.968	1044.119	198.745	BAS
387	915.688	1038.523	198.984	BAS
388	920.277	1032.803	198.526	BAS
389	922.528	1029.868	198.572	BAS
390	922.898	1038.932	198.447	BAS
391	917.528	1044.991	198.381	BAS
392	914.308	1050.709	198.582	BAS
393	911.287	1053.987	198.33	BAS
394	957.417	1102.891	198.419	BAS
395	959.408	1099.118	198.389	BAS
396	946.256	1097.504	198.479	BAS
397	948.568	1093.283	198.425	BAS
398	935.003	1091.342	198.494	BAS
399	937.499	1087.206	198.399	BAS
400	923.605	1085.002	198.472	BAS

401	926.652	1081.159	198.37	BAS
402	913.448	1078.278	198.466	BAS
403	917.994	1073.783	198.33	BAS
404	905.238	1069.728	198.4	BAS
405	913.298	1067.406	198.31	BAS
406	895.979	1060.305	198.457	BAS
407	910.126	1058.16	198.368	BAS
408	901.423	1047.706	198.461	BAS
409	905.605	1045.789	198.459	BAS
410	887.476	1052.177	198.422	BAS
411	901.329	1037.716	198.381	BAS
412	897.551	1039.296	198.429	BAS
413	894.584	1027.301	198.34	BAS
414	891.422	1029.379	198.364	BAS
415	887.278	1016.792	198.422	BAS
416	872.518	1039.65	198.364	BAS
417	884.806	1019.927	198.528	BAS
418	877.656	1008.332	198.358	BAS
419	874.851	1011.254	198.362	BAS
420	868.437	999.802	198.287	BAS
421	854.071	1029.377	198.512	BAS
422	865.324	1004.76	198.401	BAS
423	857.391	993.435	198.387	BAS
424	854.481	996.655	198.518	BAS
425	852.352	981.551	198.529	BAS
426	831.803	1007.259	198.615	BAS
427	854.405	969.124	198.468	BAS
428	848.33	982.87	198.578	BAS
429	850.926	968.278	198.44	BAS
430	825.88	958.716	198.451	BAS
431	858.648	957.182	198.444	BAS
432	820.341	983.678	198.469	BAS
433	855.605	956.282	198.417	BAS
434	861.158	944.821	198.393	BAS
435	830.45	946.211	198.473	BAS
436	862.201	932.206	198.403	BAS
437	858.589	943.209	198.388	BAS
438	855.966	930.025	198.367	BAS
439	869.911	922.612	198.36	BAS
440	834.394	919.934	198.418	BAS
441	874.53	912.279	198.33	BAS

442	846.194	903.847	198.384	BAS
443	864.861	914.192	198.317	BAS
444	858.252	888.935	198.368	TN
445	1126.151	1047.395	198.374	TN
446	1128.254	1050.103	198.481	TN
447	1130.142	1054.541	198.458	TN
448	1134.816	1048.258	198.44	TN
449	1141.567	1050.061	198.507	TN
450	1140.195	1053.697	198.485	TN
451	1118.89	1061.096	198.424	TN
452	1115.886	1057.414	198.404	TN
453	1108.524	1067.835	198.481	TN
454	1104.674	1063.615	198.45	TN
455	1098.402	1076.142	198.516	TN
456	1094.224	1072.447	198.44	TN
457	1087.634	1082.373	198.425	TN
458	1084.671	1076.785	198.425	TN
459	1075.82	1086.746	198.496	TN
460	1072.618	1080.532	198.424	TN
461	1063.142	1088.805	198.442	TN
462	1061.609	1084.574	198.402	TN
463	1051.233	1093.452	198.397	TN
464	1050.065	1089.604	198.423	TN
465	1038.666	1095.621	198.438	TN
466	1037.633	1092.296	198.425	TN
467	1025.886	1097.922	198.447	TN
468	1025.066	1094.413	198.398	TN
469	1014.52	1100.661	198.467	TN
470	1013.525	1097.579	198.417	TN
471	1000.833	1105.737	198.385	TN
472	999.11	1102.487	198.391	TN
473	988.297	1110.367	198.272	TN
474	987.245	1107.281	198.299	TN
475	975.64	1109.374	198.359	TN
476	977.69	1105.621	198.383	TN
477	963.472	1105.409	198.416	TN
478	964.297	1101.475	198.378	TN
479	951.495	1100.018	198.425	TN
480	953.356	1095.567	198.422	TN
481	985.133	1065.991	198.803	ARB
482	985.972	1062.373	199.169	ARB

483	981.419	1061.352	198.772	ARB
484	995.812	1051.337	198.767	ARB
485	989.434	1049.495	198.831	ARB
486	982.954	1049.347	198.81	ARB
487	877.429	977.242	199.513	ARB

Tabla 4. Coordenadas obtenidas de la Estación Total.

8.2 Cálculo de volumen obtenido con el levantamiento topográfico.

8.2.1 Planimetría y Altimetría.

Una vez obtenidos los puntos en campo se realizó el trabajo de gabinete, utilizando el software AutoCAD 2014, para procesar la información obtenida.

Se decidió hacer dos archivos: un archivo de Terreno Natural para obtener la Planimetría del terreno y un archivo de Terreno Accidentado (terreno con los residuos sólidos), para la Altimetría del predio.

El terreno natural se considera plano porque realizando una investigación nos encontramos que la ortofoto de 1998 nos justifica que es terreno donde se encuentra el tiradero a cielo abierto es una planicie y de esta manera justificamos que nuestro cálculo de volumen es preciso, proponiendo que los residuos sólidos están sobre un terreno plano.



Figura 19. Ortofoto E14A14D Zinápecuaro (INEGI 1998).

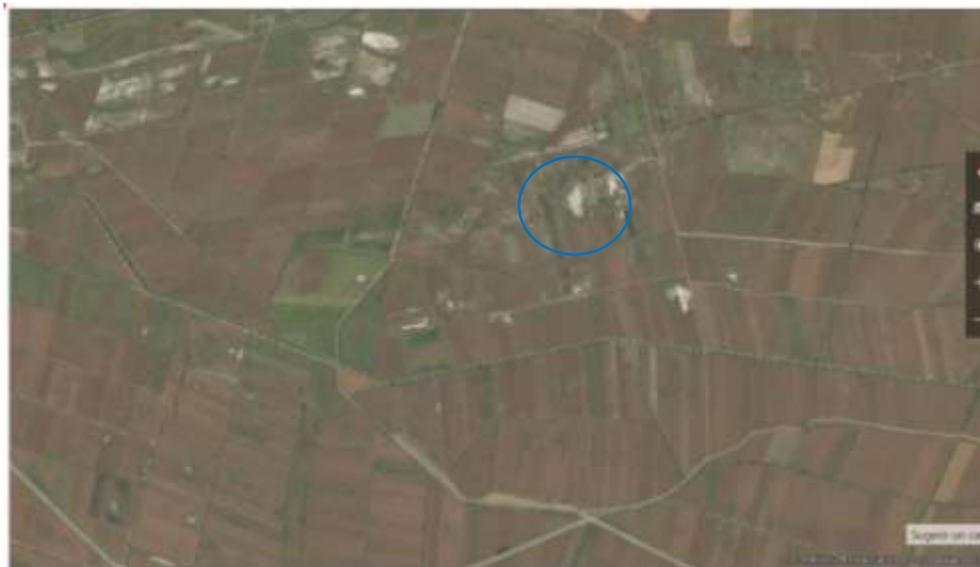


Figura 20. Imagen Satelital 2020 (Mapas).

8.2.2 Planimetría.

La planimetría se obtiene en base a la topografía que se visualiza alrededor del terreno.

Para procesar la información seguimos el siguiente procedimiento: Abrimos nuestro programa de AutoCAD 2014, de la barra de herramientas seleccionamos CivilCAD, siguiendo la ruta de CivilCAD> Puntos> Terreno>Importar. Seleccionamos la opción que nos descargará los datos (n, x,y, z), esto depende de cómo se hayan guardado los datos en la Estación Total.

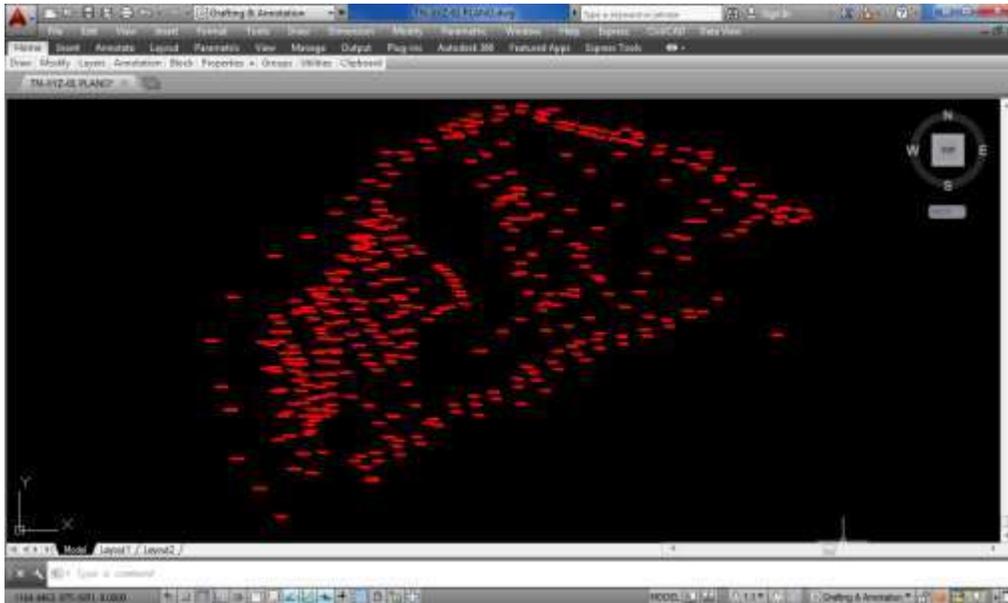


Figura 21. Puntos del levantamiento topográfico importados al AutoCad.

Obtenidos los puntos del terreno separamos los puntos del Terreno Natural para sí obtener solo la planimetría del terreno.

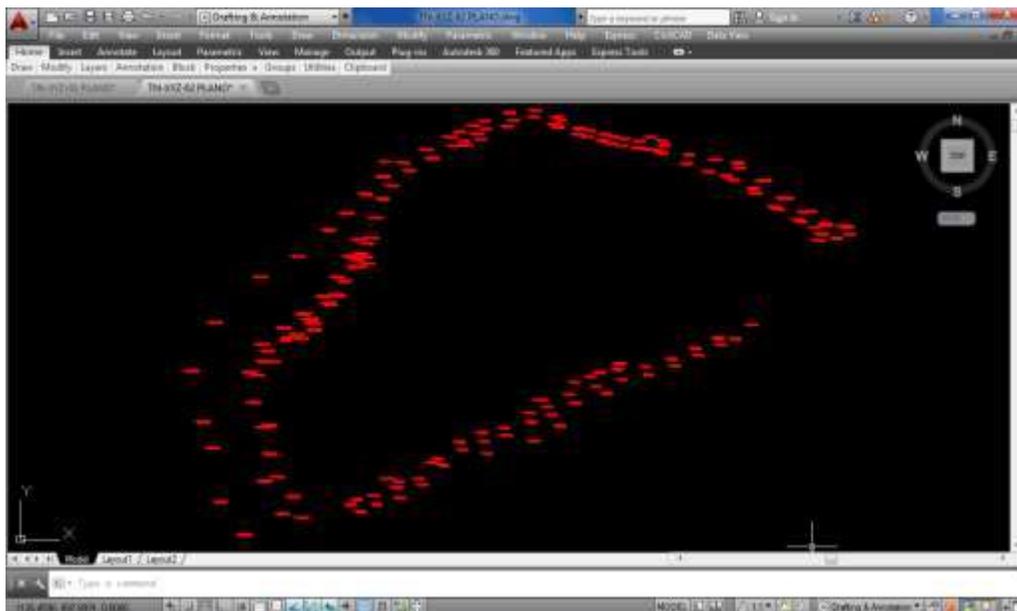


Figura 22. Puntos para obtener la Planimetría del Terreno.

El siguiente paso es obtener la triangulación de los puntos del Terreno Natural, se sigue la ruta CivilCAD>Altimetría>Triangular>Terreno, en este paso se corrige la triangulación para afinar la misma, se eliminan algunas triangulaciones para no obtener datos falsos y se revisa para eliminar triangulación que no corresponden al lugar.

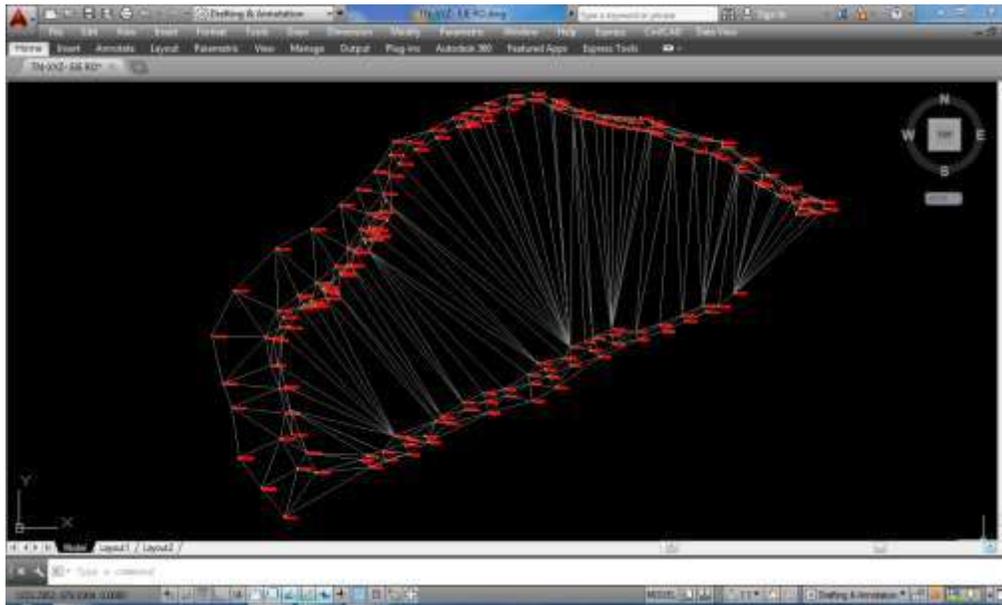


Figura 23. Triangulación con los puntos de terreno natural.

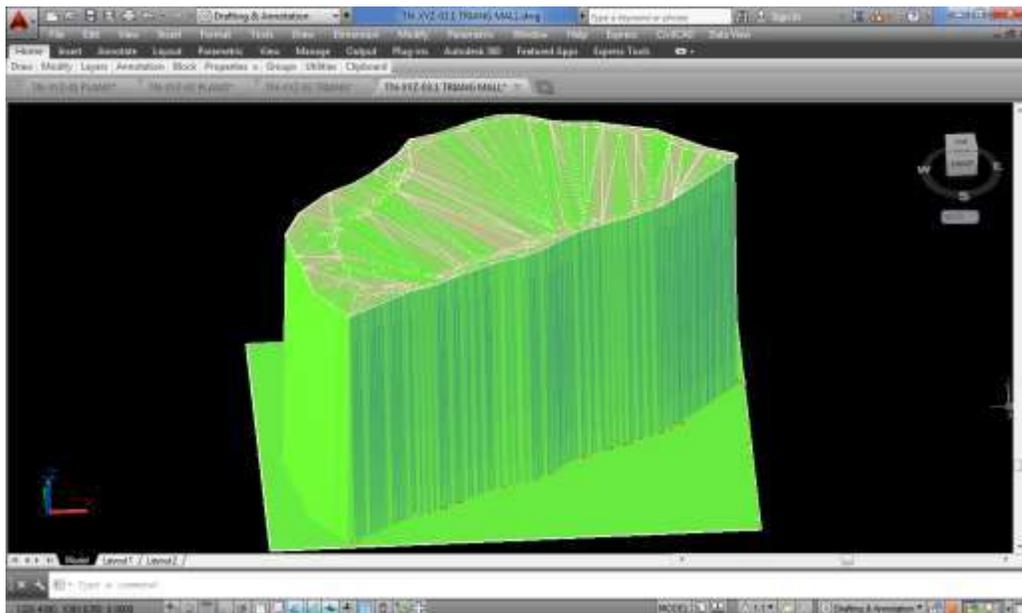


Figura 24. Triangulación malla 3D.

Una vez obtenida la triangulación, se prosigue a obtener las curvas de nivel con la ruta, CivilCAD>Altimetría>Curvas de nivel>Terreno, dando un valor para las curvas delgadas 0.2 m y para las curvas gruesas de 1 m, de esta manera obtenemos las curvas de nivel, que es una forma de tener una representación de la configuración del terreno.

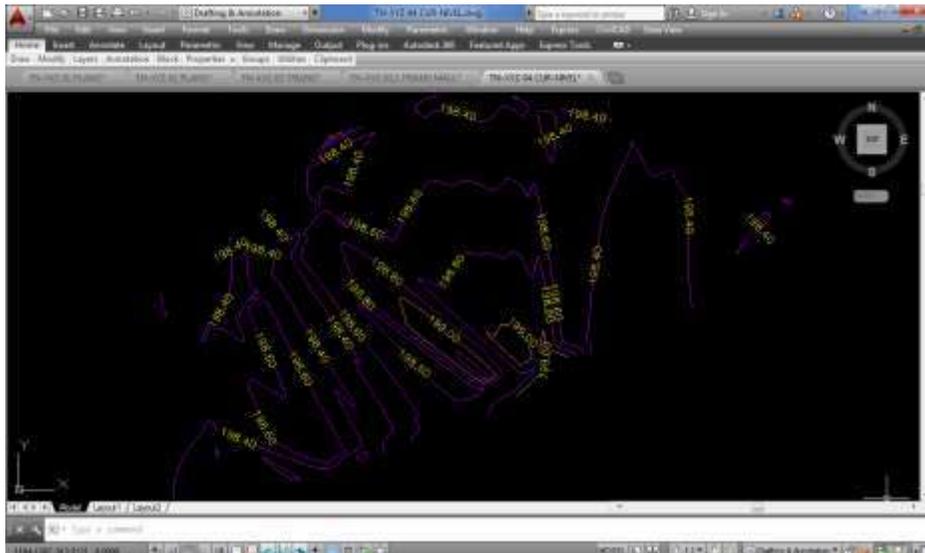


Figura 25. Curvas de nivel terreno natural. (Planimetría).

Como siguiente paso se traza un eje sobre el terreno natural, procurando que pueda trazarse por toda la longitud del terreno, el eje se trazó con una longitud de 327.99 m.

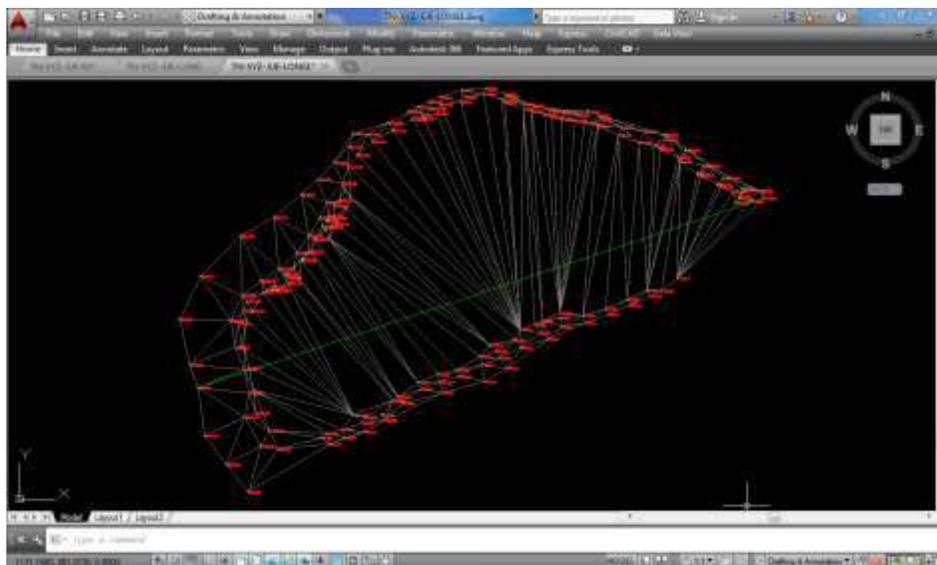


Figura 26. Eje propuesto longitudinalmente.

Con el eje longitudinal se trazan las secciones transversales siguiendo la ruta, CivilCAD>Altimetría>Eje del proyecto>Marcar estaciones, las estaciones se marcaron con una separación entre estaciones de 10 m y una distancia derecha de 65 m y 107 m en la distancia izquierda.

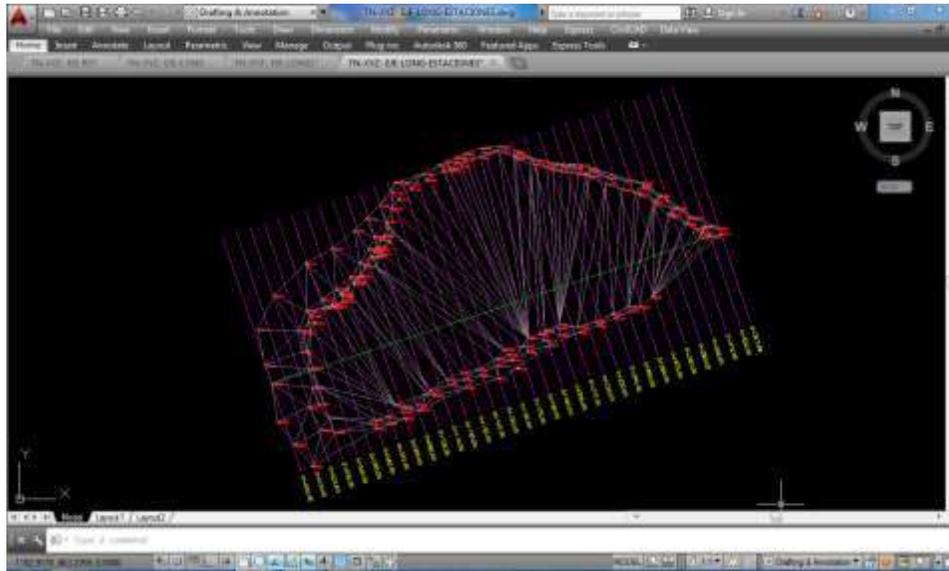


Figura 27. Trazo de estaciones, eje longitudinal de la estación 0+000 hasta la estación 0+327.99 m.

Con la marcación de estaciones se genera un perfil del proyecto, el perfil se propone con una escala horizontal 1:1000 y una escala vertical 1:100, con la siguiente ruta CivilCAD>Altimetría>Perfiles>Terreno>Dibujar.

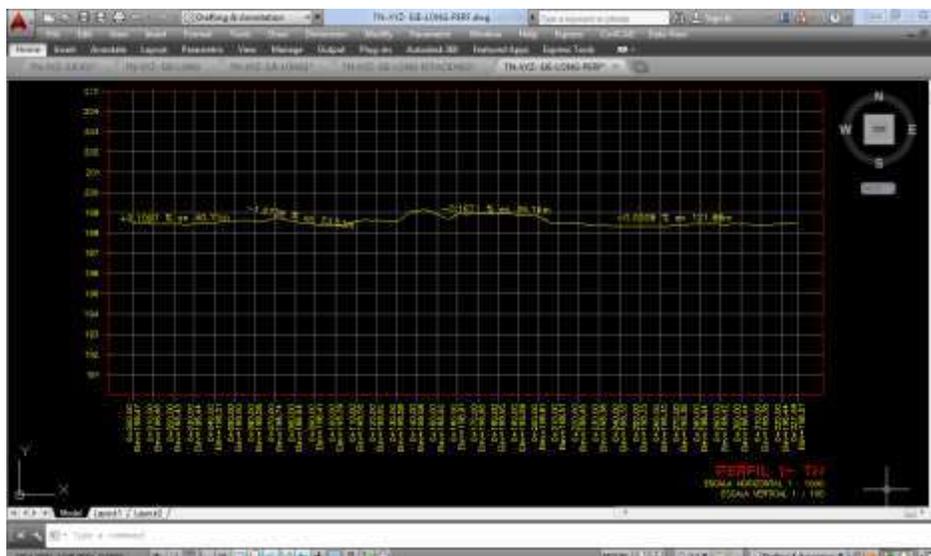


Figura 28. Perfil del eje propuesto longitudinal del terreno.

Y a partir del perfil se obtienen cada una de las secciones transversales con la ruta CivilCAD>Secciones>Terreno>Obtener.

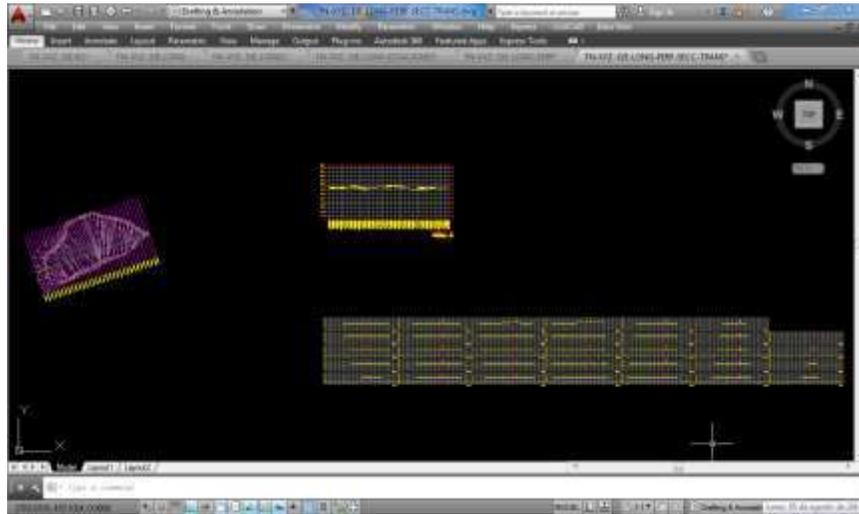


Figura 29. Secciones transversales del eje longitudinal del terreno.

8.2.3 Altimetría.

Se realizan los mismos pasos que se realizaron para el terreno natural (planimetría), en el archivo del terreno accidentado, que así nombramos al terreno que contiene los residuos sólidos para obtener la altimetría del terreno, depurando los puntos para eliminar los puntos repetidos y obtener una mejor representación del terreno.

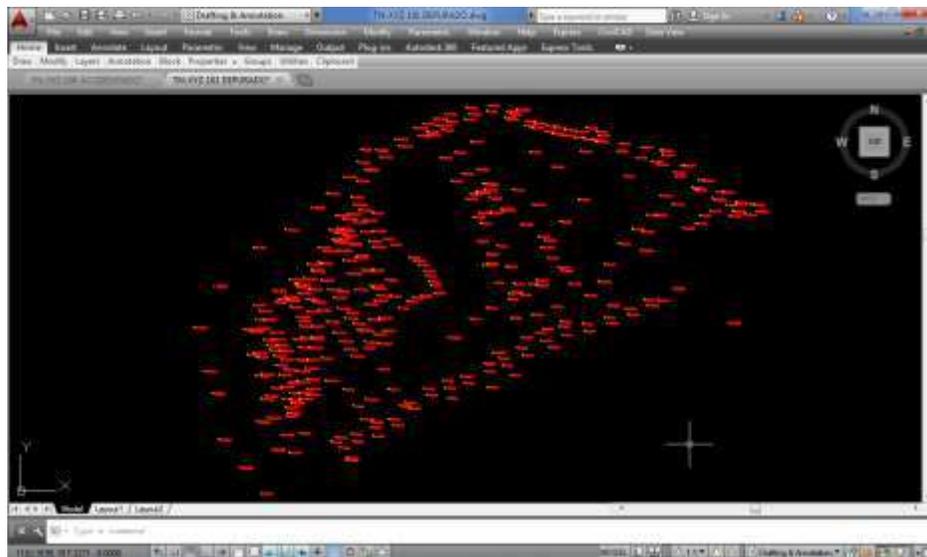


Figura 30. Puntos depurados del terreno con los residuos sólidos.

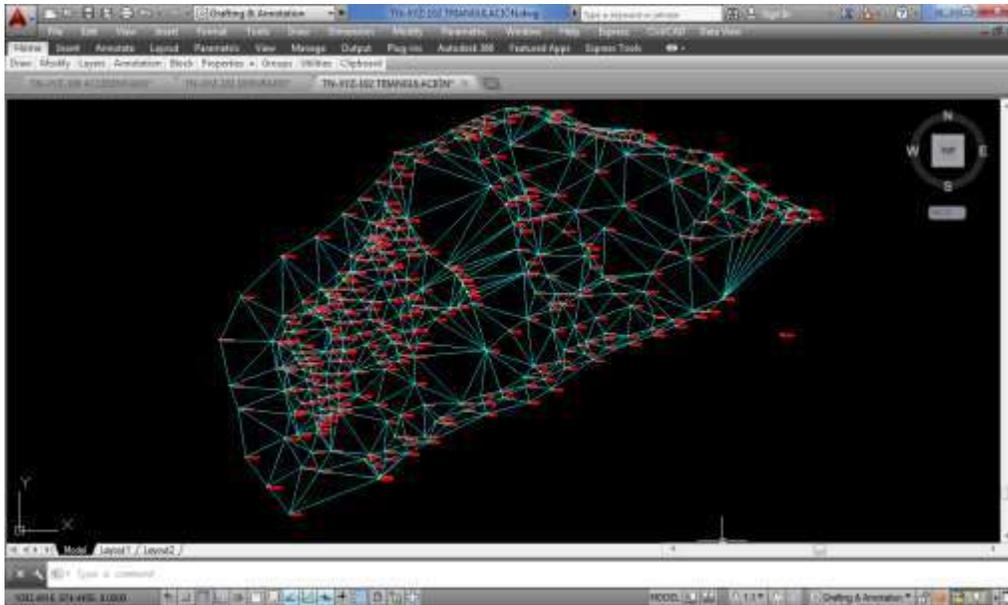


Figura 31. Triangulación obtenida con el CivilCad del terreno accidentado (terreno con los residuos sólidos).

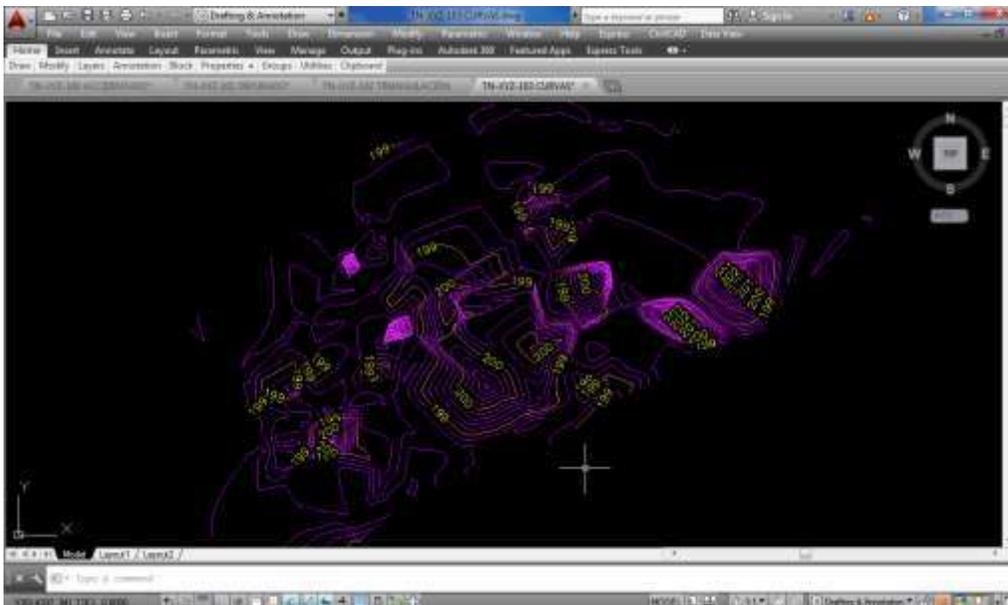


Figura 32. Curvas de nivel del terreno accidentado (terreno con los residuos sólidos).

Trazamos el mismo perfil longitudinal que propusimos en el terreno natural con la distancia de 327.99 m y las secciones transversales con la misma longitud hacia la derecha 65 m y hacia la izquierda 107 m.

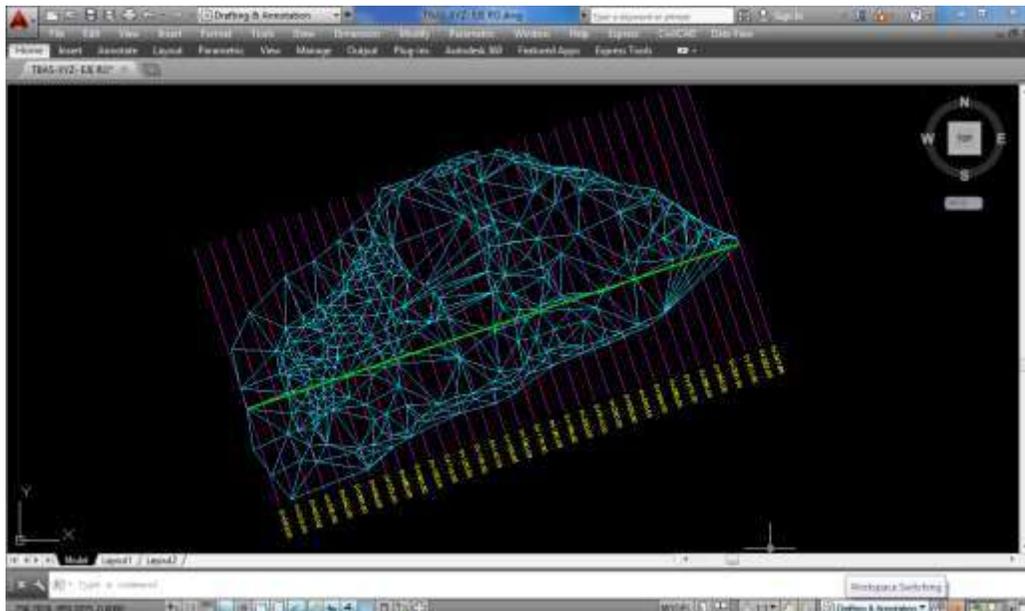


Figura 33. Estaciones del perfil longitudinal del terreno con los residuos sólidos, con longitud derecha de 65m y 107 m izquierdas, de la misma longitud del perfil del terreno natural de 327.99 m.

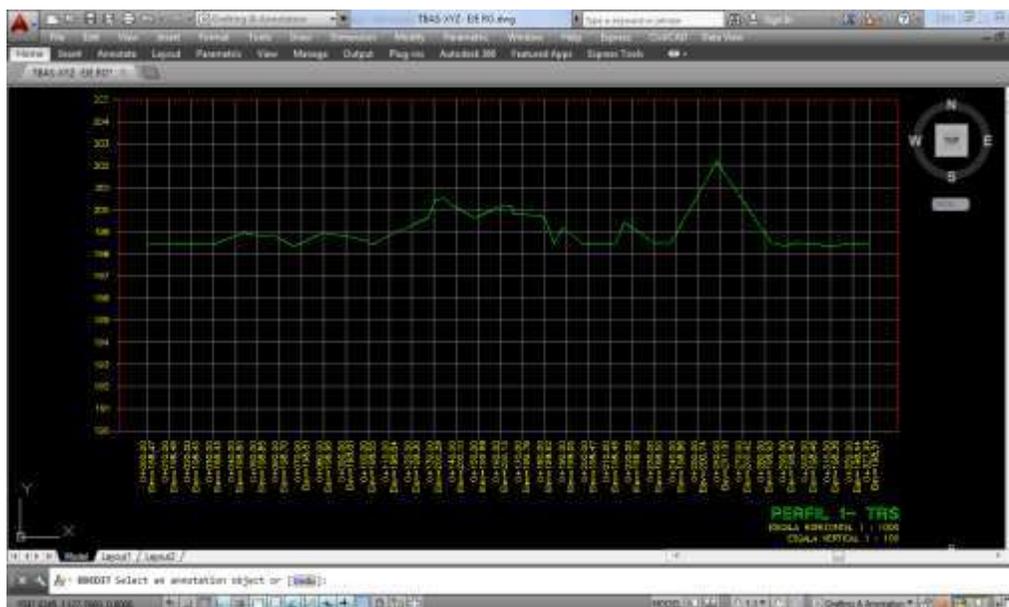


Figura 34. Perfil obtenido en el CivilCad del terreno accidentado (terreno con los residuos sólidos).

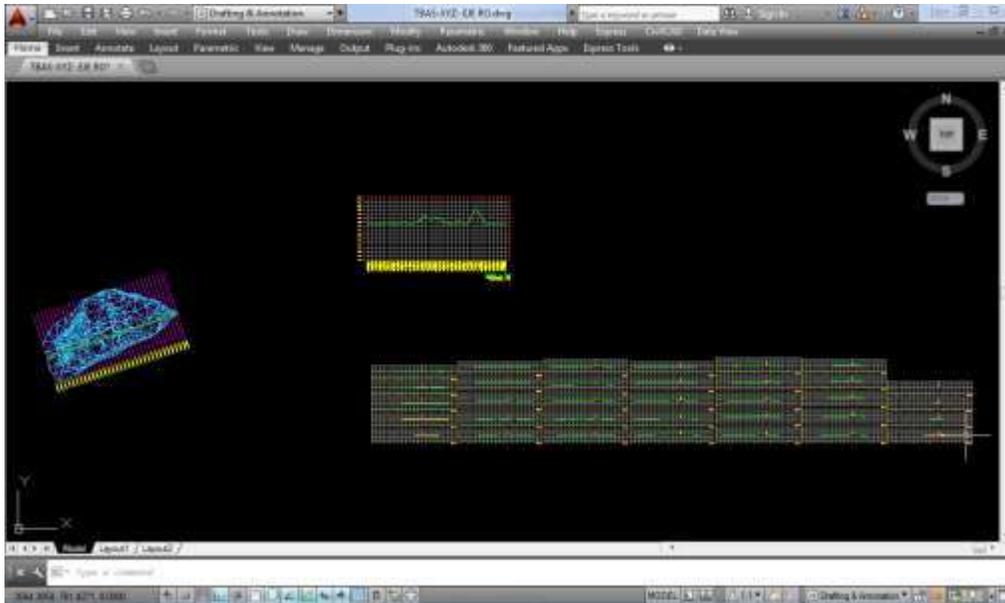


Figura 35. Secciones transversales con separación entre ellas de 10 m en terreno accidentado.

8.2.4 Planimetría y altimetría simultáneas.

Cuando se obtiene las secciones transversales del terreno natural (planimetría) y las secciones transversales del terreno accidentado (terreno con los residuos sólidos), nombrado como altimetría en nuestro estudio, se empalman las secciones transversales de los dos archivos para sacar el área que existe entre ellas para que así se obtenga el volumen existente de residuos sólidos en el tiradero clandestino de Queréndaro, Mich.

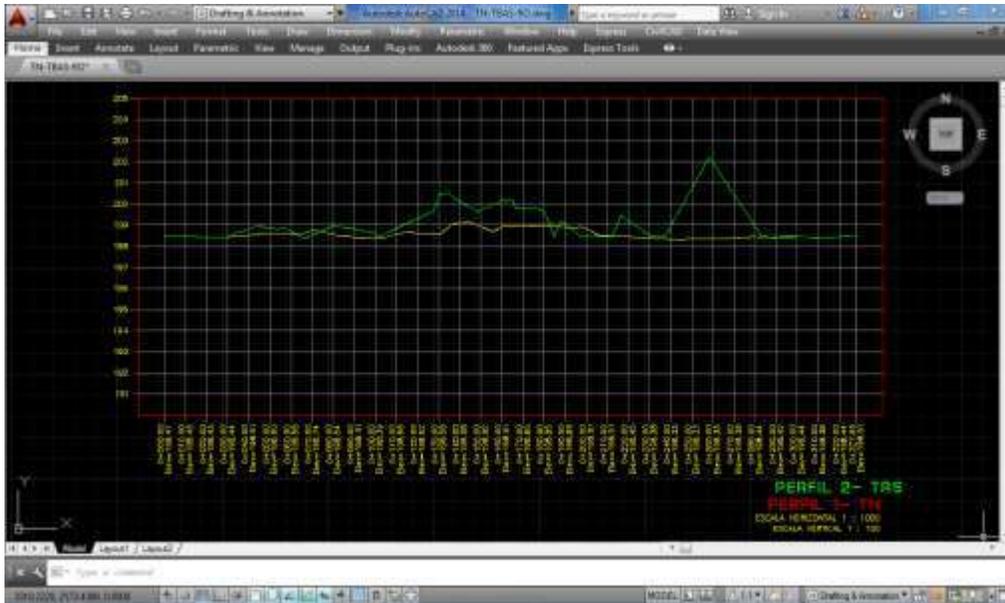


Figura 36. Emplame de los perfiles del terreno natural y del terreno accidentado.

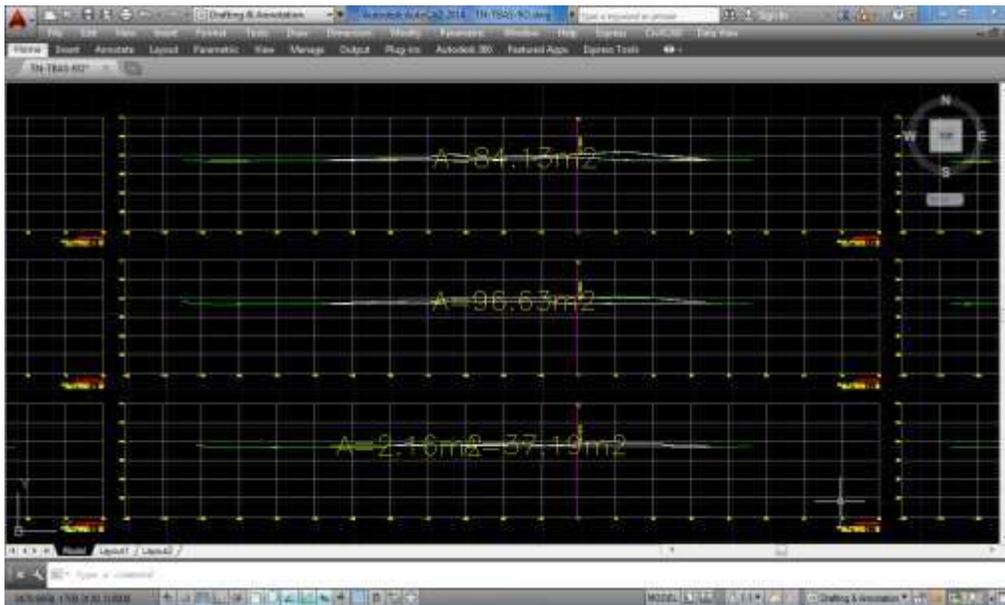


Figura 37. Cálculo del área en AutoCad, las secciones 0+140, 0+150, 0+160 de eje longitudinal propuesto.

8.2.5 Cálculo de volumen de residuos sólidos.

Una vez calculada el área en cada una de las secciones transversales se obtiene el volumen con la fórmula:

$$V = (A1 + A2) d/2$$

ESTACIONES	DISTANCIA	ÁREA		A1+A2		D/2	VOLUMEN	
		CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO		CORTE	RELLENO
0+000	0		0		0	0		0
0+010	10		0		0	5		0
0+020	10		0		0	5		0
0+030	10		1.62		1.62	5		8.1
0+040	10		17.02		18.64	5		93.2
0+050	10		17.96		34.98	5		174.9
0+060	10		25.16		43.12	5		215.6
0+070	10		22.04		47.2	5		236
0+080	10		20.01		42.05	5		210.25
0+090	10		24.83		44.84	5		224.2
0+100	10		12.98		37.81	5		189.05
0+110	10		26.55		39.53	5		197.65
0+120	10		39.35		65.9	5		329.5
0+130	10		96.63		135.98	5		679.9
0+140	10		84.13		180.76	5		903.8
0+150	10		60.26		144.39	5		721.95
0+160	10		51.16		111.42	5		557.1
0+170	10		23.3		74.46	5		372.3
0+180	10		9.92		33.22	5		166.1
0+190	10		27.5		37.42	5		187.1
0+200	10		24.23		51.73	5		258.65
0+210	10		7.73		31.96	5		159.8
0+220	10		29.27		37	5		185
0+230	10		65.32		94.59	5		472.95
0+240	10		33.16		98.48	5		492.4
0+250	10		56.47		89.63	5		448.15
0+260	10		83.99		140.46	5		702.3
0+270	10		43.95		127.94	5		639.7
0+280	10		8.89		52.84	5		264.2
0+290	10		0		8.89	5		44.45
0+300	10		0		0	5		0
0+310	10		0		0	5		0
0+320	10		0		0	5		0
0+327.99	7.99		0			3.995		0
							Σ Vol =	9134.3 m ³

Tabla 5. Cálculo de Volumen en cada uno de los empalmes de las secciones transversales del eje longitudinal.

8.2.6 Comprobación del cálculo de volumen de los residuos sólidos.

Para comprobar el cálculo se trazó un eje a 90° del eje longitudinal, de forma transversal al terreno, (eje transversal), tanto en el terreno natural como el terreno con los residuos sólidos (terreno accidentado), de una longitud de 151.48 m

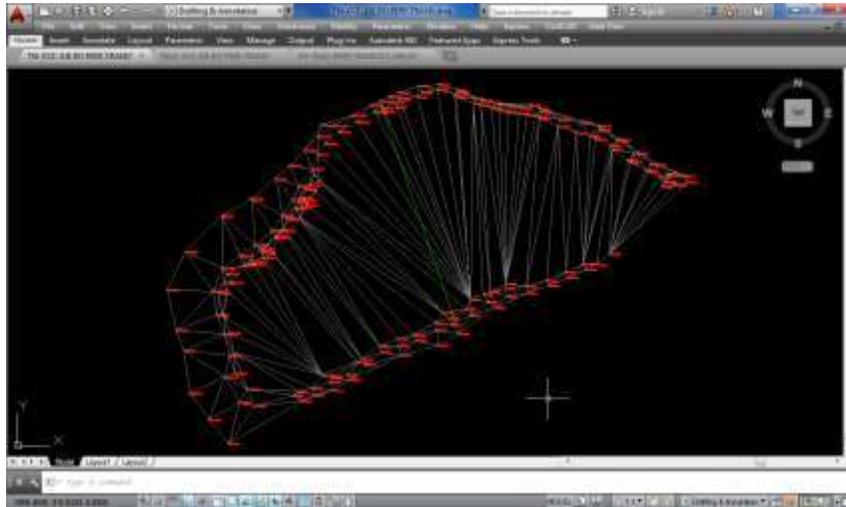


Figura 38. Eje propuesto en el terreno natural, transversalmente.

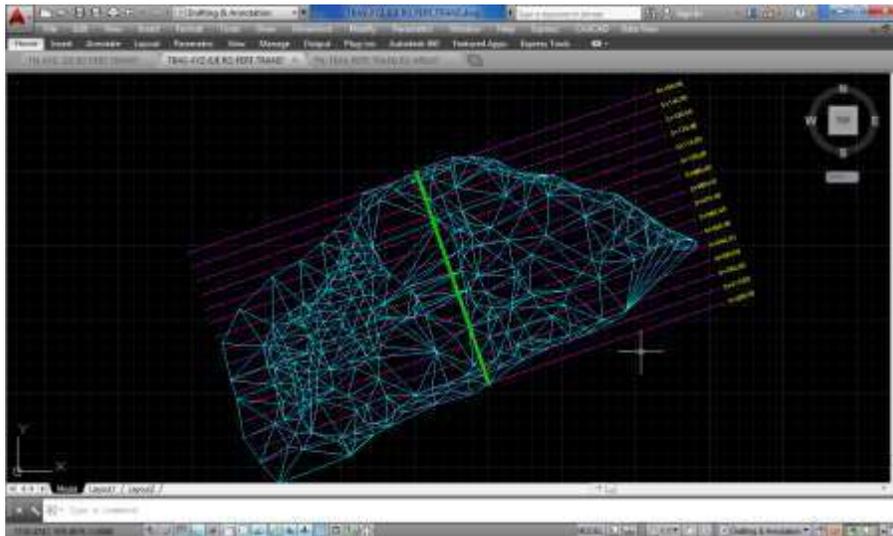


Figura 39. Eje propuesto en el terreno accidentado, con las estaciones que van de 0+00 hasta 0+151.48 m.

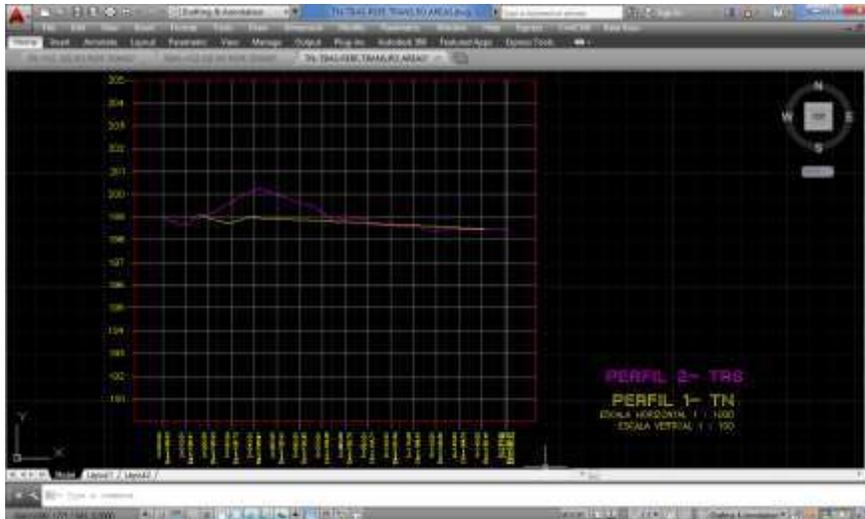


Figura 40. Empalme de los perfiles de eje propuesto transversalmente en los terrenos natural y accidentado.

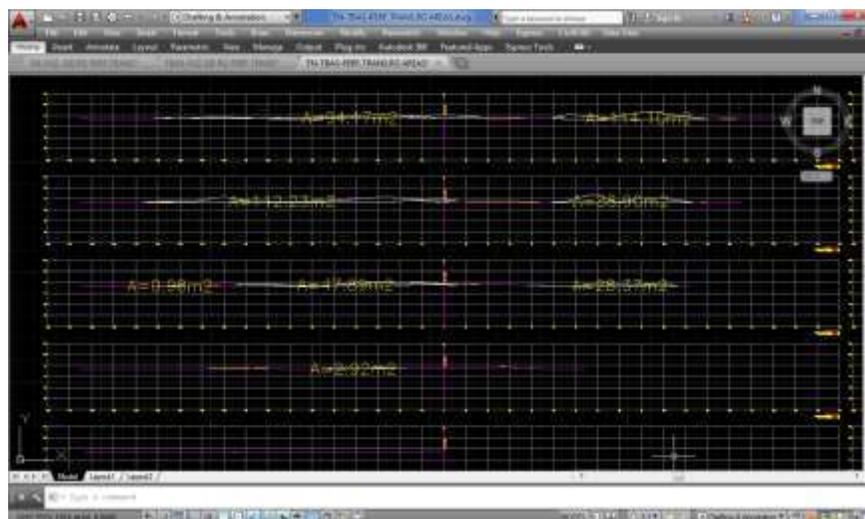


Figura 41. Cálculo de las áreas en AutoCad, en las secciones de empalme del terreno natural y el terreno accidentado.

Cálculo del volumen en el sentido transversal del terreno con la fórmula:

$$V = (A1 + A2) d/2$$

ESTACIONES	DISTANCIA	ÁREA		A1 + A2		D/2	VOLUMEN	
		CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO		CORTE	RELLENO
0+000	0		0		0	0		0
0+010	10		2.92		2.92	5		14.6
0+020	10		77.24		80.16	5		400.8
0+030	10		201.13		278.37	5		1391.85
0+040	10		208.27		409.4	5		2047
0+050	10		95.19		303.46	5		1517.3
0+060	10		100.76		195.95	5		979.75
0+070	10		73.32		174.08	5		870.4
0+080	10		54.68		128	5		640
0+090	10		38.05		92.73	5		463.65
0+100	10		28.81		66.86	5		334.3
0+110	10		12.29		41.1	5		205.5
0+120	10		2.1		14.39	5		71.95
0+130	10		2.41		4.51	5		22.55
0+140	10		1.34		3.75	5		18.75
0+150	7.95		0		1.34	3.975		5.3265
0+151.48	1.48		0		0	0.74		0
							Σ vol =	8983.727 m ³

Tabla 6. Cálculo de volumen en el eje propuesto transversalmente del terreno.

Para tener un volumen más exacto se saca un promedio del volumen obtenido tanto en el eje longitudinal y el eje transversal del terreno.

$$Vol\ promedio = \frac{Vol.\ en\ el\ terreno\ natural + Vol.\ en\ el\ terreno\ accidentado}{2}$$

$$Vol\ promedio = \frac{9134.300\ m^3 + 8983.727\ m^3}{2}$$

$$Vol\ promedio = \mathbf{9059.0135\ m^3}$$

Por lo tanto, podemos concluir que el volumen de los residuos sólidos en el tiradero clandestino del municipio de Queréndaro, Mich es de 9059.0135 m³

8.3. Procesamiento de las imágenes obtenidas en el levantamiento fotogramétrico.

1. En el programa Agisoft Metashape se realiza el procesamiento.

Se inicia añadiendo las fotos tomadas en el levantamiento fotogramétrico en este caso se añadieron las fotos de la 471 – 564.

Se sigue la ruta de flujo de trabajo>añadir fotos y de busca el archivo donde se encuentran guardadas las fotos que fueron tomadas en el levantamiento>Se seleccionan las fotos>Abrir

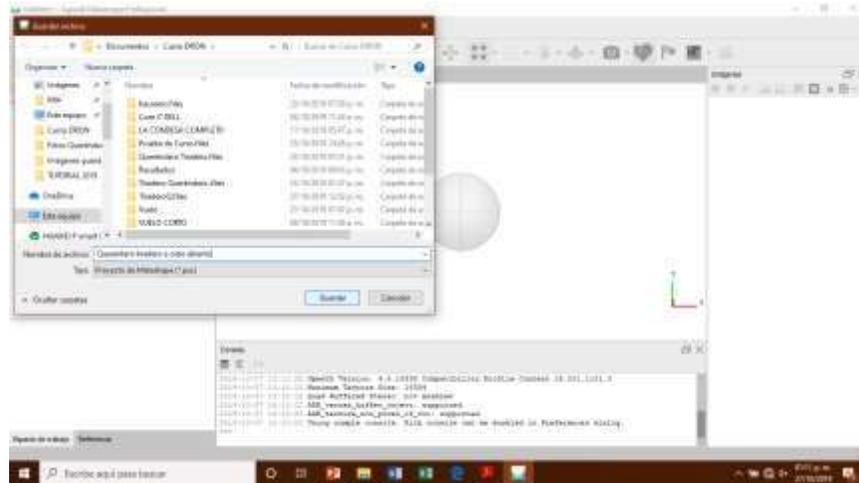


Figura 42. Inicio del Programa Argisoft.

2. A continuación, se cargan las fotos en espacio de imágenes.

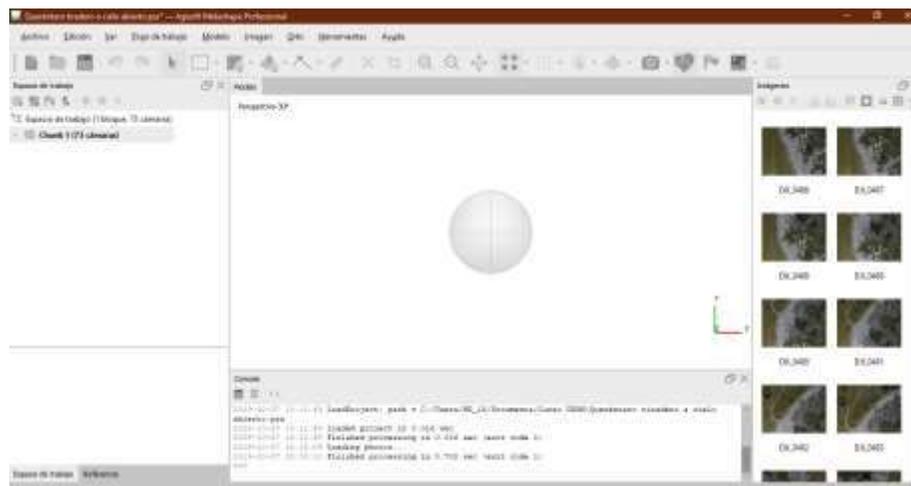


Figura 43. Fotos tomadas durante el vuelo con el dron.

3. El siguiente paso es calibración de cámara, la ruta que se sigue es: Herramientas> Calibración de cámaras.

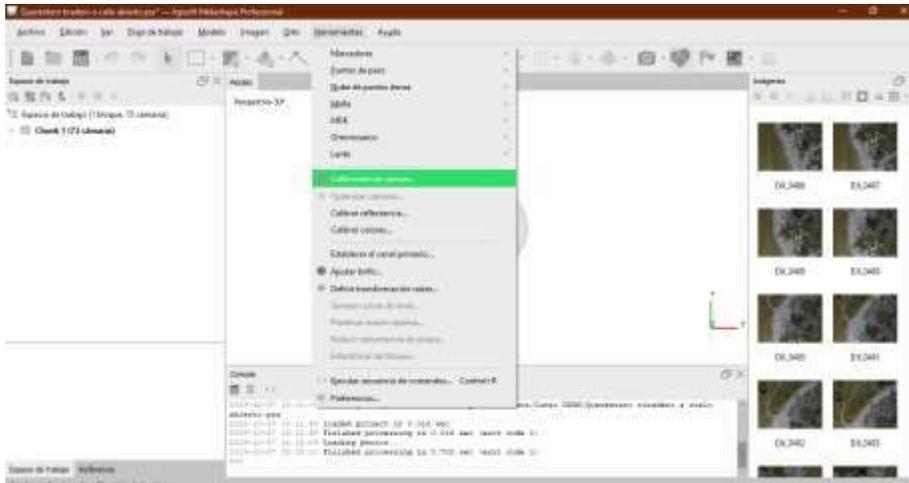


Figura 44. Calibración de las cámaras.

Aparece un menú contextual en el cual se activa la opción Compensación del rolling-shutter, porque el dron usado en este levantamiento, fue un Dron Phantom 4 DJI y tiene un obturador no mecánico de 12 megapíxeles. Y por último > Aceptar.

También se realiza otro ajuste, siguiendo la ruta: Herramientas>preferencias> GPU, se seleccionan las opciones que se presentan para activar los dispositivos.

4. El siguiente paso es convertir las coordenadas dado que las coordenadas de las fotografías están en coordenadas geográficas y las convertiremos en el sistema de coordenadas UTM.

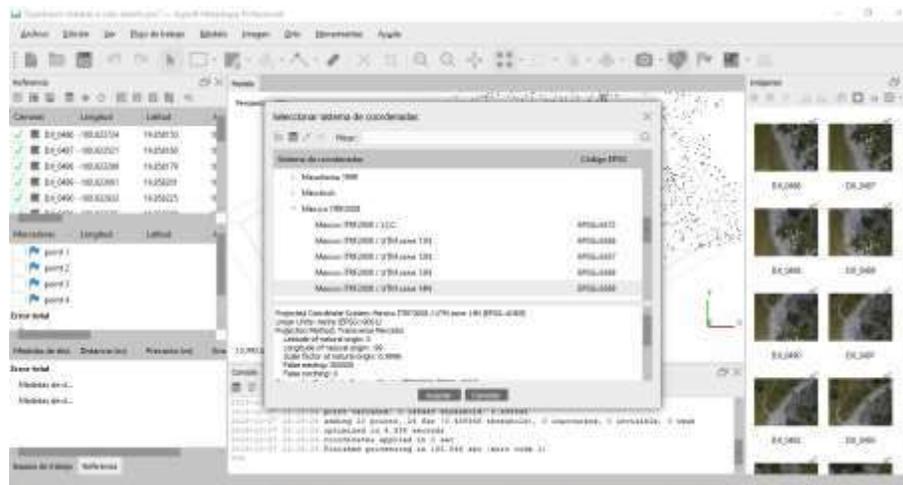


Figura 45. Dar de alta el sistema de coordenadas.

Se abrirá un menú contextual, en el cual elegimos en la pestaña de Sistema de Coordenadas> más> Sistema de Coordenadas Proyectadas> World Geodetic System 1984> WG84/UTM zone 14N> Aceptar. De esta manera se cambia el sistema de coordenadas y el eje zona 134N, debido que el municipio de Queréndaro, Michoacán se encuentra ubicado en esa zona. Y esto se puede comprobar en la aplicación de Google Earth.

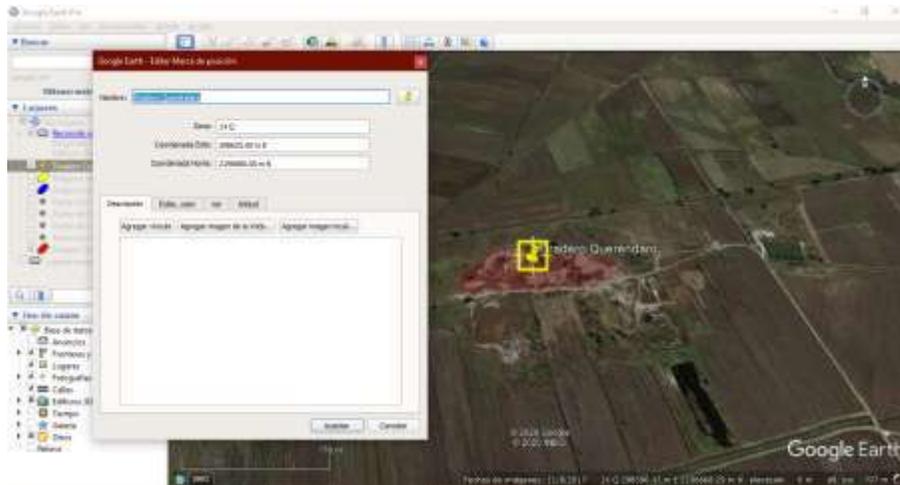


Figura 46. Comprobación de la zona 14 Google Earth.

5. Se realiza la orientación de fotografías: Flujo de trabajo>Orientar Fotos> Aceptar.

Se realiza con una precisión baja, esto para agilizar el proceso y no dará ningún efecto para nuestro procesamiento de fotos, dado que se darán de alta los puntos de control con las coordenadas correspondiente en un sistema de coordenadas UTM.

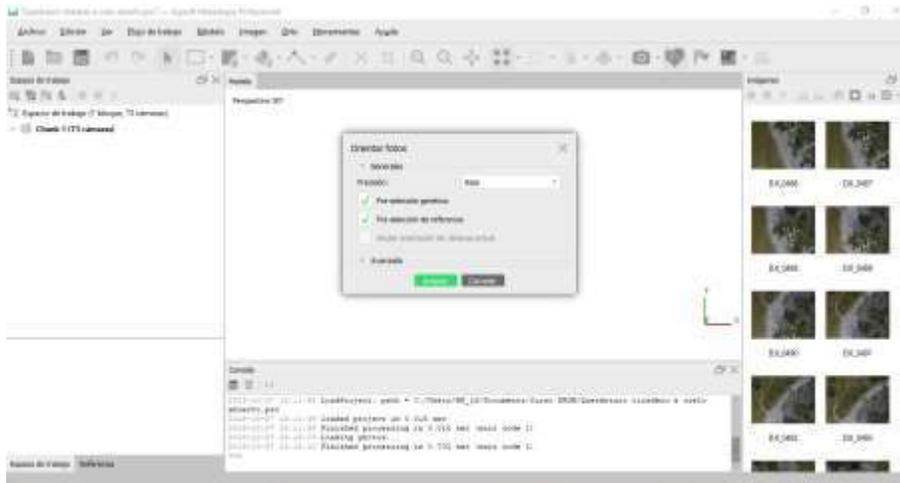


Figura 47. Orientación de las fotos.

Lo cual permitirá iniciar el procesamiento de las fotografías. Puede llevarse un poco de tiempo dependiendo de la cantidad de fotografías.

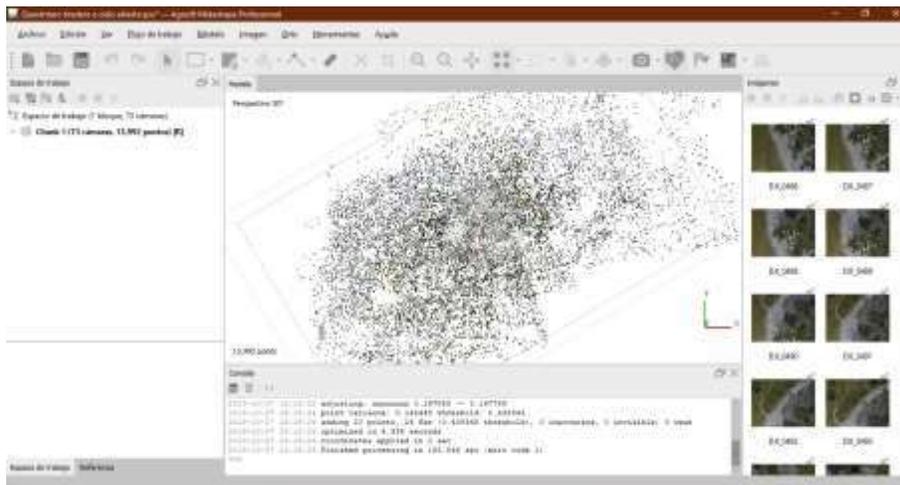


Figura 48. Inicio del procesamiento de imágenes.

6. Con siguiente paso se agregan las coordenadas en el panel de referencias de los puntos de control que fueron materializados en campo llamado Marcadores.

En el panel de referencia se da clic en el icono de importar> se busca el archivo donde se encuentran guardados las coordenadas de los puntos de control> abrir y se cargan los puntos

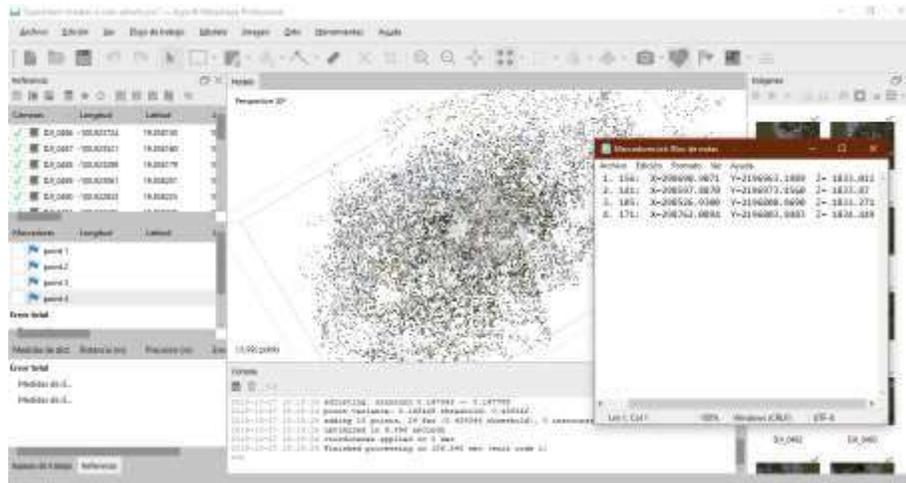


Figura 49. Alimentación de los puntos de control.

Al finalizar de capturar las coordenadas, se dará clic secundario a cualquier punto de control para filtrar las fotos con cada uno de los marcadores

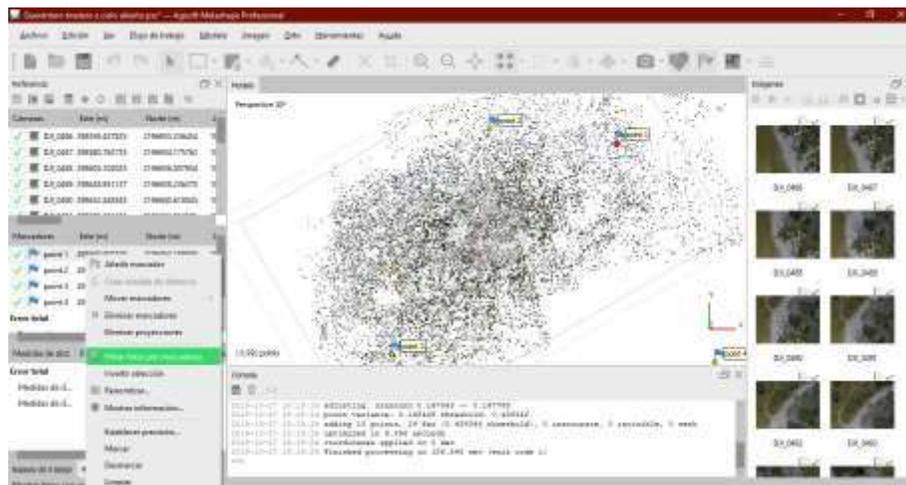


Figura 50. Filtración de las fotos con los puntos de control o marcadores.

se vuelve al flujo de trabajo para una vez más orientar las fotos, con la opción Alta ya que de esta orientación saldrán los de más archivos. Siguiendo la ruta: Flujo de trabajo> Orientar fotos.

Una vez terminado el proceso se crea la nube de puntos, con la ruta: Flujo de trabajo> Crear nube de puntos densa.

En el menú seleccionaremos la calidad de la nube de puntos densa de acuerdo al producto final para nuestro caso, seleccionamos alta ya es se trata de un trabajo regular.

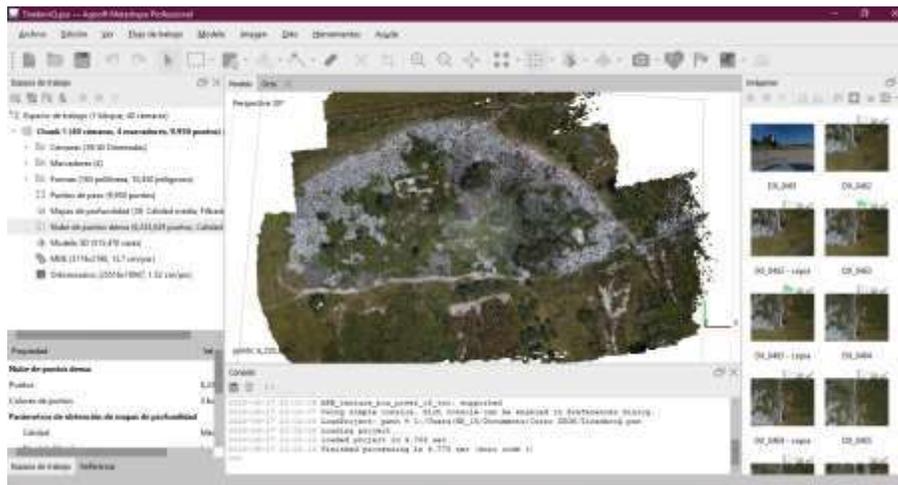


Figura 51. Nube de puntos densa.

Terminado el proceso de la nube densa de puntos, creamos la malla, con la ruta: Flujo de trabajo y seleccionamos la opción crear malla.

En este menú seleccionamos Arbitrario en tipo de superficie para modelar tal cual fueron levantados en campo; y bajo relieve/terreno para omitir los espacios debajo de otros objetos. Generalmente se selecciona esta opción para que se facilite el procesamiento en CivilCAD. En datos fuentes se selecciona nube de puntos densa y por último en número de caras media.

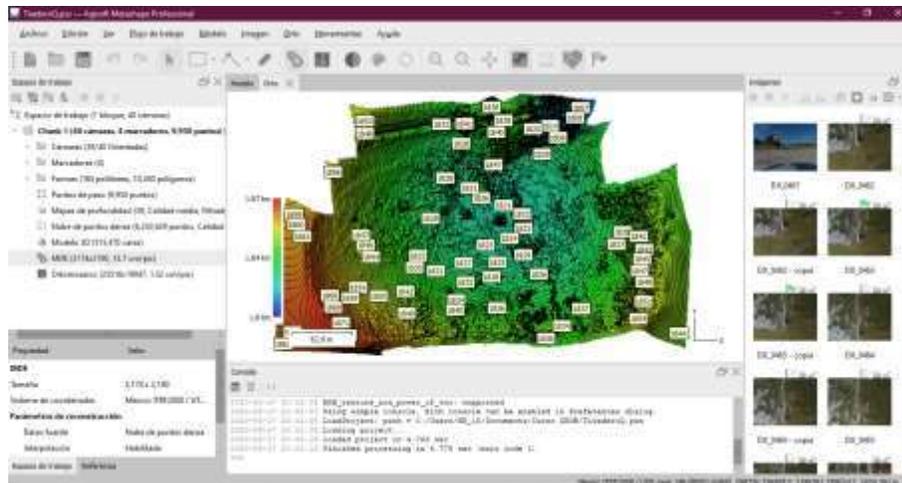


Figura 52. Modelo digital de elevaciones (MDE).

Una vez generada la malla, se exporta la ortofoto, en menú de Archivo, en la opción Exportar Imagen, en el formato JPEG/TIFF/PNG.

Para exportar la nube de puntos densa, se selecciona la nube de puntos de nuestro archivo y dando clic derecho> exportar nube de puntos densa, se guarda en una carpeta el archivo que se va exportar, con el formato ASPRS.LAS

Exportar ortofoto

Para exportar la ortofoto, se selecciona la ortomosaico y dando clic derecho> exportar ortomosaico> exportar imagen JPEG/TIFF/PNG, para aplicaciones CAD.

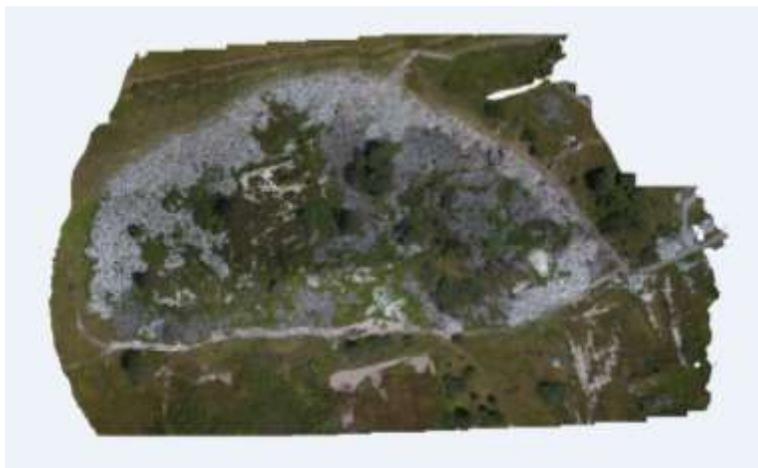


Figura 53. Ortofoto del tiradero a cielo abierto, Queréndaro Mich.

Importar los archivos a civil3D

En el software Civil3D se inserta la imagen de la ortofo del tiradero a cielo abierto de Queréndaro. Insertar imagen.

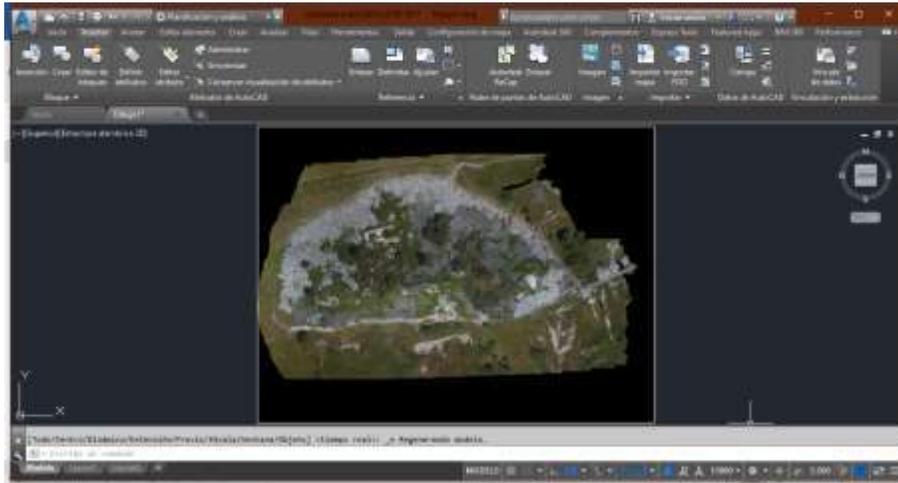


Figura 54. Ortofoto importada al Civil3D.

Una vez que se insertó la orto foto, se continua exportando la nube de puntos en Civil3D > Nube de puntos > Crear nube de puntos, desde la exportación de los puntos en formato LAS. Del programa Agisoft Metashape.

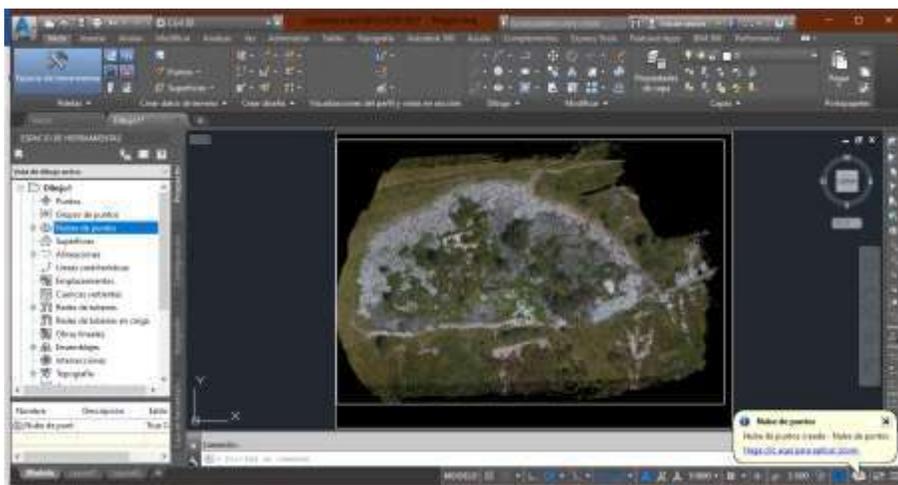


Figura 55. Nube de puntos Civil3D.

Generar curvas de nivel en Civil3D; curvas de nivel >Nube de puntos desde el archivo de puntos > añadir puntos a una superficie y se le indica al programa a cada cuanto se requieren las curvas de nivel. En nuestro caso, las curvas de nivel a cada 1 m en curvas delgadas y a cada 5 m las curvas delgadas.

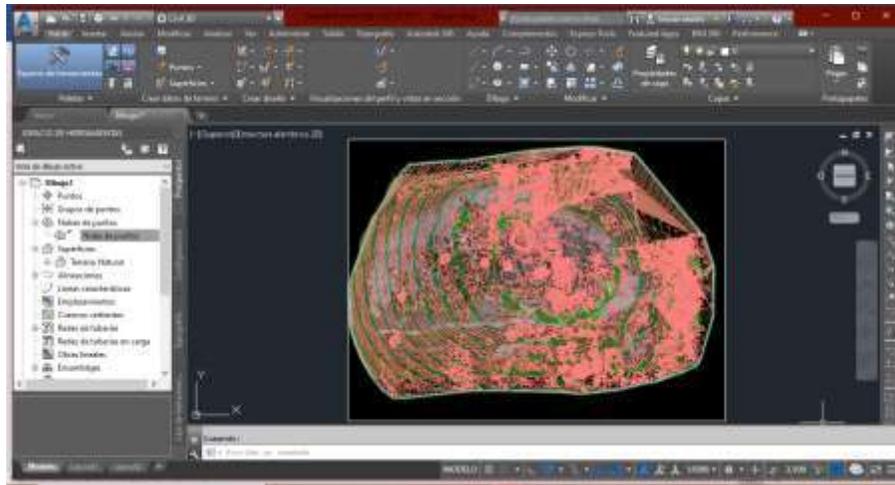


Figura 56. Curvas de nivel, en base de la ortofoto (Civil3D).

7. Por último, se realiza el cálculo de volumen, este cálculo se realizó en el programa se Agisoft Metashape, pero también ya una vez exportado la nube de puntos y la ortofoto se puede realizar el cálculo en Civil3D.



Figura 57. Cálculo del área del tiradero a cielo abierto del municipio de Queréndaro.



Figura 58. Cálculo de volumen de los residuos sólidos.

Con el procesamiento de imágenes obtenidas con el vuelo fotogramétrico se obtiene un área de donde solo hay residuos sólidos 16,151.20 m² y un volumen de 8,523.10 m³ de residuos sólidos.

8.4. Comparación de los volúmenes obtenidos con los equipos utilizados.

Levantamiento Topográfico. Estación Total.	Levantamiento fotogramétrico. Drone.
Volumen ₁ = 9134.300 m ³	
Volumen ₂ = 8983.727 m ³	
Volumen promedio = 9059.013 m ³	Volumen = 8,523.10 m ³

Se puede apreciar en los resultados que el volumen obtenido con el levantamiento topográfico es mayor, por lo cual se puede concluir que con este levantamiento se tiene un volumen más preciso.

Una vez que se realizaron estas mediciones en el tiradero a cielo abierto en el municipio de Queréndaro, Michoacán podemos proponer algunas técnicas para el tratamiento de los lixiviados que se producen en ese lugar, ya que de esto no se tiene un control, ni un almacenamiento para un proceso de tratamiento.

8.5. Cálculo de Lixiviados.

8.5.1. Cálculo de la evapotranspiración potencial ajustada (EVTPA).

Cálculo de la evapotranspiración potencial ajustada (EVTPA), se presenta en la siguiente tabla.

MES	Precipitación media mensual (mm)	Temperatura °C	<i>ij</i> índice mensual de calor	<i>Epj</i> evapotranspiración potenciales mensuales (cm).
ENERO	11.933	13.5	4.498676239	4.771879195
FEBRERO	31.25	16.5	6.095791514	5.832296794
MARZO	5.65	18	6.954116887	6.362505593
ABRIL	6.867	21	8.782121185	7.422923192
MAYO	29.88	22	9.422960101	7.776395725
JUNIO	86.915	20	8.156781464	7.069450659
JULIO	209.555	20	8.156781464	7.069450659
AGOSTO	124.367	20	8.156781464	7.069450659
SEPTIEMBRE	68.25	17.5	6.663754965	6.185769327
OCTUBRE	35.417	17	6.377626483	6.00903306
NOVIEMBRE	11	15.5	5.545256052	5.478824261
DICIEMBRE	3.15	13.5	4.498676239	4.771879195
Anual	624.234	214.5	83.30932406	
			$I =$	83.30932406
			$\alpha =$	1.840472362

Tabla 7. Cálculo de la evapotranspiración potenciales mensuales.

<i>Epj</i> (mm)	horas de sol	días del mes	K	<i>Epj</i> (mm) Ajustado.
47.7188	11	31	0.95	45.2003
58.3230	11	28	0.86	49.8985
63.6251	12	31	1.03	65.7459
74.2292	12	30	1.00	74.2292
77.7640	13	31	1.12	87.0524
70.6945	13	30	1.08	76.5857
70.6945	13	31	1.12	79.1386
70.6945	12	31	1.03	73.0510
61.8577	12	30	1.00	61.8577
60.0903	12	31	1.03	62.0933
54.7882	10	30	0.83	45.6569
47.7188	10	31	0.86	41.0912

Tabla 8. Cálculo de la evapotranspiración corregido.

8.5.2. Cálculo de coeficiente de escurrimiento.

Se considera un coeficiente de escurrimiento superficial de 0.13 en temporada de secas y de 0.17 en temporada de lluvias con lo cual pudo estimarse a partir de la precipitación (P), el escurrimiento superficial (ES) y la infiltración (I); estos cálculos se presentan la siguiente tabla.

MES	P Precipitación media mensual (mm)	C Coeficiente de escurrimiento mensual	ES Eskurrimiento superficial	I Infiltración
ENERO	11.933	0.13	1.5513	10.382
FEBRERO	31.25	0.13	4.0625	27.188
MARZO	5.65	0.13	0.7345	4.916
ABRIL	6.867	0.13	0.8927	5.974
MAYO	29.88	0.13	3.8844	25.996
JUNIO	86.915	0.17	14.7756	72.139
JULIO	209.555	0.17	35.6244	173.931
AGOSTO	124.367	0.17	21.1424	103.225
SEPTIEMBRE	68.25	0.17	11.6025	56.648
OCTUBRE	35.417	0.13	4.6042	30.813
NOVIEMBRE	11	0.13	1.4300	9.570
DICIEMBRE	3.15	0.13	0.4095	2.741
Anual	624.234			

Tabla 9. Cálculo de la humedad de infiltración, mediante el coeficiente de escurrimiento mensual.

8.5.3. Calculo de la evapotranspiración y la percolación.

La evapotranspiración real (ETA), y la percolación se calcularon mediante las siguientes relaciones:

$$ETA = ET \text{ si, } I - ET > 0$$

$$ETA = I (P - ES) \text{ si, } I - ET < 0$$

$$PERC = (I - (P - ES)) - ETA$$

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
P	11.933	31.25	5.65	6.867	29.88	86.915	209.555	124.367	68.25	35.417	11	3.15	624.234	
ES	2.1479	5.6250	1.0170	1.2361	5.3784	19.1213	46.1021	27.3607	15.0150	6.3751	1.9800	0.5670	131.9256	
I = (P-ES)	10.3820	27.1880	4.9160	5.9740	25.9960	72.1390	173.9310	103.2250	56.6480	30.8130	9.5700	2.7410	523.523	
ET	45.2003	49.8985	65.7459	74.2292	87.0524	76.5857	79.1386	73.051	61.8577	62.0933	45.6569	41.0912	761.6007	
I - ET	-34.8183	-22.7105	-60.8299	-68.2552	-61.0564	-4.4467	94.7924	30.1740	-5.2097	-31.2803	-36.0869	-38.3502	-238.0777	
ETA	10.382	27.188	4.916	5.974	25.996	72.139	79.1386	73.051	56.648	30.813	9.57	2.741	398.5566	
PERC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	94.7924	30.1740	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	124.9664	mm/año
														459.876352 m3
														1.2599 m3/día
														0.01458 l/s

Tabla 10. Cálculo de la evapotranspiración y la percolación.

Se puede observar que existe una percolación de **124.9664 mm/año**. A partir de una superficie ocupada por los residuos de 3.68 hectáreas, se tendrá una producción de lixiviados anual de **459.876352 m3** equivalente a un gasto de **1.2599m3 por día y 0.01458 l/s**.

8.6. Determinación del caudal de lixiviados en el tiradero a cielo abierto.

Cantidad de lixiviado.

Método suizo:

$$Q = \frac{PAK}{t}$$

Q = Caudal medio de lixiviado (L/s)

P = Precipitación (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m2)

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de los residuos R.S.U

t= No. de segundos en un año.

k= 0.25 a 0.5 para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0.4 a 0.7ton/m3 se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50 % de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

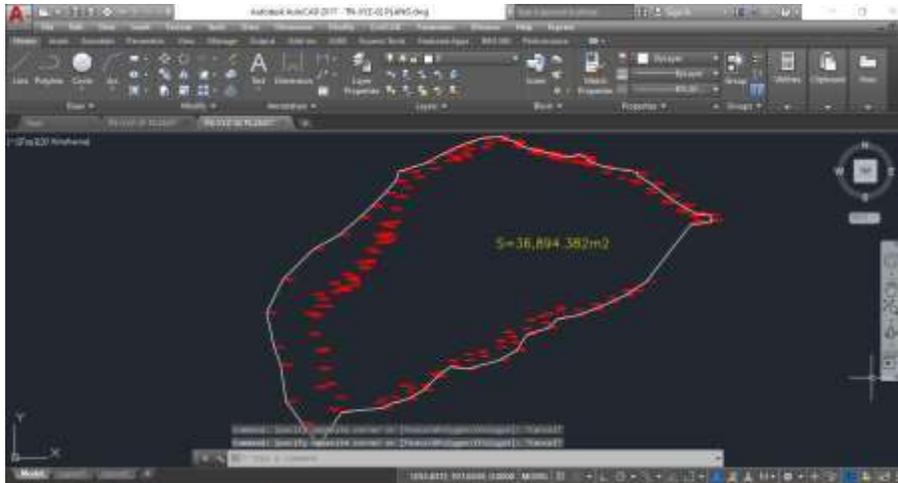


Figura 59. Área del tiradero a cielo abierto del municipio de Queréndaro.

Id:	16091
Estación:	ALVARO OBREGON (DGE)-MICH
Posición:	19.823333333333N -101.033888889W
Variable:	Precipitación (mm)
Fecha Inicial:	10/01/1966
Fecha Final:	08/01/2015
No Dato:	Nan

Fuente: página. clicom-mex.cicese.mx/estacion Álvaro Obregón, Mich.

MES	Precipitación media mensual (mm)
ENERO	11.933
FEBRERO	31.250
MARZO	5.650
ABRIL	6.867
MAYO	29.880
JUNIO	86.915
JULIO	209.555
AGOSTO	124.367
SEPTIEMBRE	68.250
OCTUBRE	35.417
NOVIEMBRE	11.000
DICIEMBRE	3.150

Julio: mes más lluvioso: 209.555 mm

$$P_m = 209.555 \text{ mm}$$

$$A = 36,834.842 \text{ m}^2$$

$k = 0.25$ (débilmente compactadas)

$$t = 2,678,400 \text{ seg/mes}$$

$$Q = \frac{(209.555)(76,625.07)(0.25)}{2,678,400}$$

$$Q = 0.720 \text{ L/s}$$

$$V_{\text{diario lixiviado}} = 62.208 \text{ m}^3 \text{ Lixiviado/día.}$$

Para este cálculo se tomaron las situaciones más críticas, el área del sitio para el tiradero a cielo abierto se tomó, el mes más lluvioso (julio), y la compactación más desfavorable.

Cálculo de evapotranspiración y la percolación.	Método suizo
$V_{\text{lixiviados anual}} = 459.876352$ m^3 de $G = 1.2599 \text{ m}^3$ por día $G = 0.01458 \text{ //s}$	$Q = 0.720 \text{ //s}$ $V_{\text{diario de lixiviado}} = 62.208 \text{ m}^3$
<small>G = gasto</small>	<small>Q = caudal medio de lixiviado.</small>

Tabla 11. Comparación de los resultados de la estimación de la generación, con los métodos utilizados.

Los métodos que fueron utilizados para el cálculo del lixiviado suelen resultar diferentes, en este caso existen varios factores que los hacen variar, por ejemplo en el método Suizo al tomar la precipitación del mes más lluvioso te lleva a un valor demasiado grande con respecto al método de la evapotranspiración, y esto es porque lógicamente al ser el mes más lluvioso se dispara su valor en volumen diario, pero también te previene de gastos un poco de lo que podrían ser gastos

extraordinarios originados por lluvias o tormentas en meses anteriores o posteriores al más lluvioso. Por otro lado todo esto también es de acuerdo al criterio de quien diseña, o bien por criterio de quien contrata, en muchas ocasiones cuando el gobierno es quien contrata fija el o los métodos a considerar en el diseño, y en ocasiones es uno u otro dependiendo de muchos factores (profesión de quien contrata, si está o no a favor de proyectos ambientales, de cuánto presupuesto destinará, etc.), otro criterio también podría ser un promedio de la lluvia anual y no la del mes más lluvioso, esto con todo y el riesgo de quedar escasos en el diseño, ambos métodos son correctos, para este ejemplo se realizaron los dos métodos pero para consideraciones posteriores se recomienda utilizar el más desfavorable. Es conveniente resaltar que cuando se realiza un levantamiento fotogramétrico, se obtiene más rápidamente la información y esto nos permite poder aplicar el método Suizo, ya que para aplicar esta fórmula es necesario conocer la superficie del terreno y esto nos permite dar resultados preliminares para poder dimensionar un tanque de almacenamiento de lixiviados y así proponer un sistema de tratamiento para los mismos.

8.7. Estimación del daño socio-ambiental y económico evitado.

En cuanto al Impacto económico-socio ambiental, se tiene solo una estimación que puede carecer de un sustento técnico- científico con rigor, sin embargo al manejarse esta metodología dentro de lo cualitativo y descriptivo también se justifica su pertinencia y congruencia con respecto a los métodos tradicionales y con respecto a los proyectos que no contemplan el impacto ambiental y social, en este caso al emplear esta técnica del DRON se evita poner en riesgo al personal (brigadas de topografía y demás gente del municipio o localidad) y por otro lado los trabajos están enfocados para realizar una propuesta de tratamiento (aunque sea solo a nivel de ingeniería básica, es decir, no contemplaría lo necesario para un proyecto ejecutivo, pero si sentaría las bases para éste), lo que estaría coadyuvando en gran medida a la solución de un problema socio-ambiental y económico al representar ahorro en los procedimientos con el empleo del DRON. Esta estimación da una clara idea del

ahorro, del beneficio social al evitar enfermedades y demás riesgos y problemas (RP, RPBI, jaurías de perros, drogadictos, mafias de tratas de personal de pepena, tráfico de residuos sólidos ilegales, etc), con el DRON se agiliza y se evitan riesgos y problemas innecesarios, siempre será mejor evitar que enfrentar un problema por pequeño que éste sea en el beneficio ambiental. Se visualiza que eventualmente al generarse superficies impermeables en el propio relleno se evita la contaminación del subsuelo y del agua subterránea y a su vez de los elementos bióticos como la flora y la fauna que dependen del agua a través del ciclo hidrológico.

8.7.1 Daño económico evitado.

<i>Valores 2019</i>		
<i>Has</i>	<i>Lev</i>	<i>Curvas</i>
1	2,680	4,555
2	3,114	5,296
3	3,548	6,031
4	3,982	6,772
5	4,416	7,507
6	4,850	8,248
8	5,719	9,724
10	6,587	11,200
12	7,455	12,152
14	8,323	14,152
16	9,192	15,628
18	10,060	17,104
20	10,928	18,580
<i>Si se requieren detalles como: arboles, constrcciones, caminos, etc. Aumenta un 25%</i>		

Tabla 12. Valores de los costos de levantamientos topográficos.

Levantamiento de topografía con estación total

Para nuestro levantamiento el costo de levantamiento con estación total tendría un costo de \$6,230.24 pesos, debido a que necesitamos el levantamiento de

planimetría y de altimetría. Con este costo incluye la renta del equipo, operador, baliceros, equipo menor, dibujante, digitalización e impresión, se entregan planos, informe fotográfico y coordenadas de los puntos medidos en campo; estos datos se entregan en carpeta en físico y en digital.

Levantamiento de fotogramétrico.

El levantamiento fotogramétrico en nuestro caso tendría un costo de \$15, 946.66 pesos, agregando el costo de viáticos para el traslado a lugar del levantamiento, este costo ya incluye planos, fotos, la renta de estación para colocar los puntos de control, el procesamiento de las fotos y una toma de video; esta información se entrega en carpeta en físico y una memoria USB.

En comparación de los costos para cada uno de los levantamientos utilizados, se puede apreciar que en un primer momento el levantamiento topográfico realizado con Estación Total sale más económico que al realizarlo con el Dron, hay que tomar en cuenta que al realizar el levantamiento haciendo el uso de una Estación Total, en ocasiones se requiere de varios días para realizar las mediciones necesarias para realizar nuestros cálculos y es aquí donde el costo puede incrementar por el número de ocasiones que se tiene que ir al lugar para recabar la información necesaria; en el caso de la técnica con dron se tiene la gran ventaja de ahorrar tiempo y dinero realizando las mediciones de las áreas, para realizar los cálculos correspondientes del sitio de interés en cuestión de minutos, cuando se hace la medición de un lugar empleando el método de fotogrametría, se puede hacer la medición de grandes extensiones de terreno en un poco tiempo, es aquí donde ya se vuelve más económico la técnica empleando dron que el levantamiento con la Estación Total. También es importante indicar que al decidir con cuál de los equipos se hará la medición, se debe de tomar en cuenta que, en cuestión de precios en comparación de una Estación Total y un Dron, el dron tiene un costo de un 20% del costo total de una Estación Total.

Estimación del daño social.

Levantamiento con Estación Total.

El personal requerido para realizar la medición con Estación Total.

<i>Personal requerido para el levantamiento con Estación Total.</i>	
1	Chofer
1	Operador de la Estación Total.
3	Baliceros

Tabla 13. Personal requerido con Estación Total.

El personal requerido para realizar la medición con Estación Total.

<i>Personal requerido para el levantamiento con Dron.</i>	
1	Chofer
1	Operador de la Estación Total.
1	Operador del Dron

Tabla 14. Personal requerido con Dron.

8.7.2 Daño social evitado.

En comparación del personal requerido en cada uno de los levantamientos se distingue que cuando se realiza el levantamiento con un Dron, se necesita menos personal y nos ayuda a no poner en riesgo al personal por contraer alguna enfermedad por exponerse al contacto directo con objetos infectados que se encuentran en el tiradero a cielo abierto y esto ayuda a ahorrar en recursos económicos en servicios médicos y hospitalarios.

8.7.3 Estimación del daño ambiental.

La estimación del daño ambiental es invaluable porque los daños que se genera en estos sitios de tiradero a cielo abierto son irrecuperables, ya que las afectaciones son en el suelo, subsuelo, acuíferos, aguas superficiales, lagos, lagunas, flora, fauna y seres vivos en general, para que pueda llevarse a cabo un proyecto de

restauración se tienen que realizar estudios muy costosos para realizar el análisis del estado de los componentes del medio ambiente y así establecer criterios, en donde se incluyan planear metas y objetivos, para establecer diseños de implementación y monitoreo, para llegar a un ecosistema restaurado o recuperado.

<i>Algunos estudios requeridos para la restauración ambiental.</i>	<i>Costo aprox.</i>
Manifestación de Impacto Ambiental	50,000
Estudio Hidrológico	80,000
Estudio Geotécnico	100,000
Estudio Geológico	50,000
Análisis Químico	80,000
Estudio Topográfico	20,000

Tabla 15. Algunos estudios requeridos para restauración ambiental.

9. CONCLUSIONES.

La degradación de los ecosistemas naturales y los paisajes se ha intensificado en los últimos tiempos con la expansión urbana, las infraestructuras, la industria, la agricultura y la ganadería y otros usos, así como la demanda de recursos naturales para una población en aumento. Tal degradación afecta negativamente a la calidad de vida y bienestar humano y exige, de un lado, adoptar cambios en los modelos productivos, de consumo y de comportamiento social para un desarrollo sostenible y, de revertir las situaciones de degradación que la propia actividad humana genera.

Se concluye que, ante los múltiples intereses sociales, económicos y ambientales, este estudio permite priorizar las opciones al máximo del beneficio común. La participación de los grupos y profesionales de interés al diseño del proyecto de restauración o remediación, se pueden implementar, en medida de lo posible, en el propio diagnóstico, diseño y ejecución del proyecto, facilitando su desarrollo, tramitación y éxito a mediano y largo plazo. Sin embargo, el daño que se hace al

medio ambiente es irreversible. Y el objetivo que persigue este trabajo es orientar en la toma de decisiones para aumentar la rapidez en la que se obtiene información que puede servir en actuaciones para el fortalecimiento y recuperación del capital natural. Además, de ser útil a la vez para el sector empresarial, el académico, la Administración y el entorno social.

En este sentido, se pretende fomentar el uso de recursos tecnológicos modernos y disponibles para realizar tareas como la planetada. Además, se presenta la aplicación de los criterios, técnicas o metodologías que, en diferentes casos y entornos, han posibilitado la aplicación completa o parcial de la metodología de un levantamiento topográfico convencional.

Con el procedimiento planteado, es posible repetirlo en diferentes casos, ya sea de forma preventiva o de rutina, ya sea antes de iniciar un actividad o estrategia para la gestión y disposición final de los residuos sólidos. En definitiva, se pueda aplicar en todas las fases de desarrollo. Ya que al realizar las mediciones haciendo el uso de un dron se obtienen los datos necesarios y suficientes para realizar el cálculo de volumen de los residuos sólidos y de lixiviados, y teniendo estos cálculos, tomar las decisiones adecuadas dependiendo del lugar de estudio, gracias a la información rápida que se puede obtener, y con dicha información se realice una propuesta para el tratamiento de los residuos sólidos, ayudando a determinar las características particulares del sitio en estudio y que nos permitirán obtener las bases para iniciar los estudios posteriores respectivos y cumplir con las recomendaciones emitidas por las normativas para dar inicio un proyecto ejecutivo, logrando proponer y establecer un desarrollo para llevar a cabo una buena gestión de estos residuos.

10. Bibliografía

- Bernabéu, C. (2015). Aplicaciones a la inspección de palas de aerogeneradores. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 221-226). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Bordallo, L., & Burwitz, A. (2015). Aplicaciones a la extinción nocturna de incendios forestales. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 129-142). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Borjas, J., & López, J. (2015). Aplicaciones en la seguridad al control de fronteras. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 171-174). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Campo, I. (2015). Aplicaciones en el control de obras y evaluación de impactos. En E. H. J.L., *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. (págs. 149-153). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Casgrande, G., Sik, A., & Szabó, G. (2018). *Small Flying Drones*. Roma, Italia: Springer International Publishing.
- Castro, J. (2018). - *Medidas de Volúmenes de Acopios en la Cantera El Aljibe- Amonacid de Toledo Utilizando el Sistema RPAS*. Madrid, España.: Universidad Politécnica de Madrid.
- Checa, M., Escudero, M., Lario, F., & Pocel, P. (2015). Aplicaciones en el seguimiento fitosanitario de masas forestales. En E. H. J.L., *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 119-126). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- CONAPTAC. (2019). Colegio Nacional de Peritos Topógrafos. *Guía rápida para el uso de Agisoft PhotoScan*.
- Coria, E. (2018). *Cálculo de Volúmenes de una Mina de Piedra Caliza por Modelo 3D, Implementando Nuevas Tecnologías (Drones)*. . Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Cuerno, C. (2015). Origen y desarrollo de los sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto. En *Los drones y su aplicaciones a la ingeniería civil*. (págs. 15-32). Madrid, España: Dirección General de Industrial, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.
- Cuesta, J., & Ruiz, D. (2015). Aplicaciones en el negocio eléctrico de distribución. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 229-236). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Díaz, J. (2015). Aplicaciones al periodismo. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil* (págs. 199-208). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Dominguez, J. (2015). Aplicaciones en auditorías energéticas con termografía aérea. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 159-161). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.

- Escobar, J., Igleias, L., & Pérez, H. (3 de octubre de 2017). Nuevas plataformas y sensores de teledetección XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. *Evacuación de modelos de elevación derivados de fotometría por aeronaves remotamente pilotadas para el cálculo de áreas de inundación en zonas urbanas: el caso de estudio de la ciudad costera de Riohacha (Caribe colombiano)*. Madrid, Murcia, España.
- Ezcurra, A., & Apocad, .. D. (2015). Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil. En J. Esteban Herreros, *Aplicaciones de Calidad del Aire* (págs. 59-65). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Fernández, G., L., V., Palacio, J., Peralta, A., & García, A. (2008). Geomorfometría y cálculo de erosión hídrica en diferentes litologías a través de la fotogrametría digital con drones. *Investigaciones Geográficas. Instituto de Geografía. UNAM*, 1-6.
- Gallegos, A., Bolaños, J., & Gustavo, H. (2018). *GENERACIÓN DE UN MODELO DE INUNDACIÓN DEL RÍO PITA IDENTIFICANDO PUNTOS CRÍTICOS FORMADOS POR LA SEDIMENTACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS Y EVENTUALES ERUPCIONES DEL VOLCÁN COTOPAXI, TRAMO SANTA TERESA-SAN RAFAEL*". Sangolquí, Ecuador.: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- García Marín, A., & Rosique, M. (1994). *Topografía Básica para Ingenieros*. Murcia: Servicios de Publicaciones Universidad de Murcia).
- Gilraldo, E. (s.f.). *Tratamiento de lixiviados de Rellenos Sanitarios*. Universidad of Massachussets, USA.: Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Los Andes.
- Gonos *Topografía SI*. (27 de Abril de 2017). Obtenido de <http://www.gonostopografia.com/pix4d-uav/>
- Guerrero, S., & Faraone, M. (2018). Aplicación de Fotometría y Modelación 3d en Geología y Minería; el Granito de Cufre . *Revista investigaciones DINAMIGE-MIEM*, 9.
- Hemav*. (05 de Abril de 2016). Obtenido de Hemav: <https://hemav.com/el-origen-y-la-historia-de-los-drones/>
- Hernández, D. (2006). *Introducción a la fotogrametría digital*. Ciudad Real, España: Univerdad de Castilla - La Mancha.
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Queréndaro, Michoacán de Ocampo*. INEGI.
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. INEGI.
- López, C., & Martín, D. (2015). Aplicaciones a la prospección y explotación de recursos minerales. En E. H. J.L., *Los drones y aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 77-89). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.

- Marcos, J., Sánchez, L., Gil, M., Ortiz, J., & Martínez, S. (2016). Empleo de la fotometría de rango cercano y RPAS para la determinación de biomasa en parcelas agrícolas. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*.
- Martorell, A. (28 de enero de 2018). Obtenido de Geo innova: <https://geoinnova.org/blog-territorio/comparativa-de-programas-para-fotogrametria/>
- Melgosa, S. (2015). Aplicaciones en las auditorías energéticas con termografía aerea. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 185-190). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Mesas, F., & García-Ferrer, A. (2015). Apliaciones urbanísticas. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 211-219). Madrid.: Gráficas Arias Montano, S. A.
- México, S. G. (2011). *Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Queréndaro, Michoacán*. Morelia, Michoacán.
- Mitsikostas, E. (2017). Monitorización y Optimización de Tierras con Drones y Fotometría Aérea para Aplicaciones de Precisión en Agricultura. En *Tesis para obtener el título de Ingeniero en Geomática y Topografía*. (pág. p.87). Valencia España.: Universidad Politécnica de Valencia.
- Montesinos.S. (2015). Aplicaciones en agricultura. En E. H. J.L., *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 101-116). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Pérez, S., Hernández, F., Flores, H., & Rivera, F. (2016). Levantamiento Topográfico de Vasos de Almacenamiento con Vehículos Aéreos No Tripulados. *COMETII*.
- Pinto, R. (12 de Enero de 2018). *SONAMI*. Obtenido de Sociedad Nacional de Minería.: <http://www.sonami.cl/site/wp-content/upload/2016/03/09/.-Drones-La%20tecnolog%C3%ADa-ventajas-y-sus-posibles-aplicaciones.pdf>.
- Pix4D. (2018). Obtenido de <https://www.pix4d.com>
- Quirós Rosado, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía Aplicadas a la Ingeniería Civil*. Cáceres: Universidad de EXTremadura.
- Quirós, E. (2014). *Introducción a la fotometría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil*. Cáceres, España: Servicio de Publicaciones Universidad de Extramadura.
- Ramos, H., & Montesinos, J. (2015). Aplicaciones hidrológicas. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 101-116). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Reinoso, R. (2015). Aplicaciones en el mantenimiento de líneas eléctricas. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. (págs. 175-179). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.

- Rossi, A., Rhody, H., Salvaggio, C., & Walvoord, D. (2012). *Abstracted Workflow Framework with a Structure from Motion Application*. New York, Estados Unidos: Image Processing Workshop (WNYIPW).
- Ruiz, M. (2003). *Nociones de Topografía y Fotogrametría Aérea*. Granada, España.: Editorial Universidad de Granada.
- Saenz, D., & Beltrá, A. (2015). Aplicaciones Cartográficas. En F. d. Madrid., *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. (págs. pp.67-76). Madrid, España: Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.
- SAEZ, D., & BELTRÁN, A. (2015). Aplicaciones cartográficas. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 67-75). Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Sanches, J. (2006-2007). Catedra de Topografía. Introducción a la Fotogrametría. Madrid: E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos.
- Saura, R., & González, A. (2015). Aplicaciones al Periodismo. En J. Esteban Herreros, *Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. (págs. 191-197). 2015: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Tapia, I. (2017). Análisis topográfico a detalle de un tramo de la quebrada Shansshayacu, sur del DMQ, usando técnicas aerofotogramétricas, como información base para el análisis de estabilidad de laderas. En *Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil*. (pág. 64). Quito, Ecuador.: Escuela Politecnica Nacional.
- Valis, D. (15 de agosto de 2017). Obtenido de CONACYT agencia informatica:
<http://conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/16862-drones-cuidado-ambiental>
- Vázquez, J. (2017). Instituto Mexicano del Transporte. *Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para gestión de infraestructura del transporte*. Querétaro., Mpio. Pedro Escobedo., México.
- weatherspark*. (16 de Agosto de 2020). Obtenido de weatherspark:
<https://es.weatherspark.com/y/4876/Clima-promedio-en-Estaci%C3%B3n-Quer%C3%A9ndaro-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Wolf, P., & Ghilani, C. (2016). *Topografía 14a edición*. Ciudad de México.: Alfaomega grupo editor, S.A de C.V., México.