

**UNIVERSIDAD INTERSERRANA DEL ESTADO DE
PUEBLA-CHILCHOTLA**



**ORGANISMO PÚBLICO DESCENTRALIZADO DEL GOBIERNO DEL
ESTADO**

**“Estudio de identificación y distribución de agave mediante
visión computacional en la zona de Chilchotla Puebla”**

Tesis

**Que para obtener el título de
Ingeniero en Sistemas Computacionales**

Presenta:

Ismael Colorado Zapata

Generación 2017-2022

Director de Tesis

Dr. María Liliana Hernández Pérez

Rafael J. García, Chilchotla Puebla, junio de 2023





Chilchotla

UNIVERSIDAD INTERSERRANA DEL ESTADO DE PUEBLA-CHILCHOTLA

ORGANISMO PÚBLICO DESCENTRALIZADO DEL GOBIERNO DEL ESTADO

“Estudio de identificación y distribución de agave mediante visión computacional en la zona de Chilchotla Puebla”

Tesis

Que para obtener el título de
Ingeniero en Sistemas Computacionales

Presenta:

Ismael Colorado Zapata

Generación 2017-2022

Director de Tesis

Dr. María Liliana Hernández Pérez

Rafael J. García, Chilchotla Puebla, junio de 2023



Chilchotla, Puebla a 07 de junio de 2023
Asunto: Se autoriza impresión y empastado

C. Ismael Colorado Zapata

Pasante de la **INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**

Matrícula: **201772051**

P r e s e n t e

Según el dictamen entregado a la Jefatura de Departamento Académico del programa educativo de INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES; por parte de la Comisión Revisora, de fecha **06 de mayo** del año en curso, **No Existe Ningún Inconveniente** para que el trabajo “**Estudio de identificación y distribución de agave mediante visión computacional en la zona de Chilchotla Puebla**”, pueda ser impreso y empastado en un ejemplar; debiendo adjuntar el trabajo recepcional en archivo electrónico debidamente rotulado a más tardar el **13 de mayo** del presente año, para proceder a tramitar su fecha de Examen profesional. De antemano reciba una cordial felicitación por la conclusión de su trabajo recepcional.

A T E N T A M E N T E.

Título/Nombre	Cargo	Firma de conformidad
Dr. María Liliana Hernández Pérez	Presidente	
Ing. Alberto Hernández Ortiz	Secretario	
Ing. Michelle Chabelli Castillo Bonilla	Vocal	

Av. Miguel Hidalgo s/n, Rafael J. García, Chilchotla, Pue. C.P. 75070.
Tel. 012828286101, e-mail: uichilchotla@gmail.com

Estudio de identificación y distribución de agave mediante visión computacional en la zona de Chilchotla Puebla

Tesis realizada por el C. Ismael Colorado Zapata, bajo la dirección de la Dr. María Lilitana Hernández Pérez, ha sido revisada y aprobada por el H. jurado examinador, abajo indicado y aceptado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

JURADO EXAMINADOR

PRESIDENTE



Dr. María Lilitana Hernández Pérez

SECRETARIO



Ing. Alberto Hernández Ortiz

VOCAL



Ing. Michelle Chabelli Castillo
Bonilla

Rafael J. García Chilchotla Puebla, junio 2023

Agradecimientos

A mis padres Ismael Colorado Ronzón y Mirna Zapata Flores y mi hermana Marely Colorado Zapata, por todo el apoyo, comprensión y cariño que me han brindado, porque gracias a ellos he podido llegar a este punto, gracias a sus enseñanzas he podido aprender a disfrutar mi vida, pero sin dejar de ser responsable, a siempre dar lo mejor de mí en todo momento... Gracias.

A mi familia.

A Fabiola Fátima Altunar Jiménez por ser un pilar muy fuerte en mi vida y por todo el apoyo que me ha brindado.

A Leonardo Rivera Juárez, Erick Guillermo Pimentel Pimentel y Juan Felipe Yoval Montemira por siempre brindarme su amistad y apoyo, incluyendo los momentos de risas que hacían que el día fuera más divertido.

Al Ing. Alejandro Rojas Centeno por todas sus enseñanzas, apoyo, paciencia y amistad.

Al MIA. José Luis Trejo Mirón por ser una parte fundamental de este proyecto, por sus enseñanzas, consejos, paciencia y amistad.

A la Ing. Michelle Chabeli Bonilla Castillo por fungir como mi asesor de proyecto, por brindarme su amistad y apoyarme en todo momento.

A todos los docentes en general que me impartieron alguna materia porque gracias a ellos puedo llevarme parte de sus conocimientos.

A mis amigos.

Índice

Glosario.....	16
Resumen.....	17
Abstract.....	19
I. Introducción.....	21
II. Planteamiento del problema.....	23
III. Objetivos.....	25
Objetivo General.....	25
Objetivos específicos.....	25
IV. Hipótesis.....	26
V. Justificación.....	27
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	28
1.1 Estado del arte.....	28
1.1.2 Imagen digital.....	28
1.1.3 Imagen vectorial.....	28
1.1.4 Mapa de bits.....	29
1.1.5 Binarización de una imagen.....	31
1.1.6 Umbralización.....	35
1.1.6.2 Método de Otsu.....	36
1.1.7 Descomposición de una imagen en sus colores RGB.....	37
1.1.8 Ruido de una imagen.....	40
1.1.9 Transformaciones.....	42
1.1.9.1 Transformaciones lineales.....	42
1.1.10 Circularidad.....	47
1.1.11 AGAVE.....	49
1.1.11.1 ¿Qué es una Agave?.....	49

Identificación de agaves en Chilchotla Puebla

1.1.11.2 Estructura de un Agave.....	51
1.1.11.3 Raíces.....	51
1.1.11.4 Piña	52
1.1.11.5 Penca.....	52
1.1.11.6 Púa	54
1.1.11.7 Quiote	54
1.1.11.8 Flores	55
1.2 Sistemas similares	57
1.3 Tecnología.....	60
1.3.1 MATLAB	60
1.3.2 QGIS	62
1.3.3 Google Earth.....	62
1.3.4 DJIFLY	63
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	64
2.1 Metodología	64
2.1.1 Metodología de la investigación.....	64
2.1.2 Metodología Técnica	64
2.1.3 Metodología Waterfall.....	65
2.1.3.2 Roles	66
2.2 Estudio de Factibilidad.....	67
2.2.1 Factibilidad técnica.....	67
2.2.2 Factibilidad económica.....	68
2.3 Comunidades consideradas para la investigación	72
2.3.1 Chilchotla.....	72
2.3.2 Comunidades de Chilchotla, Puebla recorridas	72
2.4 Cronograma de Actividades	75
2.5 Desarrollo de metodología	76
2.5.1 Diagrama de flujo	76
2.5.1.1 Recorridos.....	77
2.5.1.2 Elevación del dron y captura de imágenes	78
2.5.1.3 Lectura de la imagen en Matlab	78
2.5.1.4 Convertir a escala de grises	79

Identificación de agaves en Chilchotla Puebla

2.5.1.5 Binarizar la imagen.....	80
2.5.1.6 Erosionar imagen.....	80
2.5.1.7 Mostrar la imagen.....	81
2.5.1.8 Detección de objetos.....	82
2.5.1.9 Detección de triángulos	82
2.5.1.10 Mostrar mensaje	83
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUCUSIÓN.....	84
3.1 Análisis de resultados.....	84
3.1.1 Ubicación de las localidades recorridas representadas en Google Hearth	84
3.2 Acocomotla.....	85
3.2.1 Procesamiento de imágenes de Acocomotla	86
3.2.2 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 10 m de altura en Acocomotla	86
3.2.3 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 20 m de altura en Acocomotla	87
3.2.4 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 30 m de altura en Acocomotla	88
3.3 La Trinidad.....	89
3.3.1 Procesamiento de imágenes de La Trinidad	89
3.3.2 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 10 m de altura en La Trinidad	90
3.3.3 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 20 m de altura en La Trinidad	91
3.3.4 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 30 m de altura en La Trinidad	92
3.4 Vicente Guerrero.....	93
3.4.1 Procesamiento de imágenes de Vicente Guerrero	93
3.4.2 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 10 m de altura en Vicente Guerrero.....	94
3.4.3 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 20 m de altura en Vicente Guerrero.....	95
3.4.4 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 30 m de altura en Vicente Guerrero.....	96
3.5 Francisco I. Madero.....	97

Identificación de agaves en Chilchotla Puebla

3.5.1 Procesamiento de imágenes de Francisco I. Madero.....	97
3.5.2 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 10 m de altura en Francisco I. Madero.....	98
3.5.3 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 20 m de altura en Francisco I. Madero.....	99
3.5.4 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 30 m de altura en Francisco I. Madero.....	100
3.6 Análisis estadístico.....	101
3.6.1 Rango de erosión y umbralización para imágenes a 10 m de altura.....	101
3.6.2 Rango de erosión y umbralización para imágenes a 20 m de altura.....	103
3.6.3 Rango de erosión y umbralización para imágenes a 30 m de altura.....	104
3.6.4 Promedio de los rangos de Erosion y Umbralización de acuerdo a la localidad y la altura.	106
3.6.5 Agaves detectados en una zona en específico de cada localidad	107
3.7 Discusión.....	108
Conclusiones.....	110
Referencias.....	112

Índice de figuras

Figura 1. Representación binaria de una imagen	30
Figura 2. Capas RGB de una imagen.....	31
Figura 3. Imagen en escala de grises y binarización.....	33
Figura 4. Imagen binarizada sin ruido.	34
Figura 5. Imagen binarizada de un texto.....	34
Figura 6. Tabla de colores.....	38
Figura 7. Conversión de la imagen original a escala de grises.	39
Figura 8. Binarización para la detección de la rosa.	40
Figura 9. Efecto publicitario.	40
Figura 10. Distribución de píxeles	42
Figura 11. Representación gráfica de lo que es un vector.	43
Figura 12. Convolución de una imagen	44
Figura 13. Procesamiento de imágenes espaciales.	46
Figura 14. Procesamiento espacial en MatLab.	47
Figura 15. Triángulos en un agave.....	48
Figura 16. Agave fotografiado en los recorridos de estudio.....	50
Figura 17. Partes del maguey.....	51
Figura 18. Raíces de un agave.	52
Figura 19. Quiote de un maguey adulto.....	55
Figura 20. Flor de un quiote.....	56
Figura 21. Logotipo oficial de MatLab.....	60
Figura 22. Interfaz de IDE MatLab.....	61

Identificación de agaves en Chilchotla Puebla

Figura 23. Interfaz del IDE MatLab para la programación por bloques.....	61
Figura 24. Universidad Interserrana del Estado de Puebla Chilchotla	¡Error! Marcador no definido.
Figura 25. Recorrido a Francisco I. Madero.	77
Figura 26. Lectura de la imagen original	78
Figura 27. Imagen en escala de grises.	79
Figura 28. Imagen Binarizada.....	80
Figura 29. Imagen erosionada.....	81
Figura 30. Detección de objetos con Regionprops.	82
Figura 31. Detección de triángulos en la imagen.....	83
Figura 32. Mensaje.....	83
Figura 33. Localidades de Chilchotla, Puebla.	84
Figura 34. Ubicación de Acocomotla.	85
Figura 35. Imagen original 10 m Acocomotla.....	86
Figura 36. Imagen Binarizada 10 m Acocomotla.	86
Figura 37. Resultado final 10 m Acocomotla.	87
Figura 38. Fotografía original 20 m Acocomotla.	87
Figura 39. Imagen binarizada 20 m Acocomotla.....	87
Figura 40. Resultado final 20 m Acocomotla.	87
Figura 41. Imagen original 30 m Acocomotla.....	88
Figura 42. Imagen binarizada 30 m Acocomotla.....	88
Figura 43. Resultado final 30 m Acocomotla.	88
Figura 44. Ubicación de La Trinidad.....	89

Identificación de agaves en Chilchotla Puebla

Figura 45. Imagen original 10 m La Trinidad.....	90
Figura 46. Imagen binarizada 10 m La Trinidad.	90
Figura 47. Resultado final 10 m La Trinidad.....	90
Figura 48. Imagen original 20 m La Trinidad.....	91
Figura 49. Imagen binarizada 20 m La Trinidad.	91
Figura 50. Resultado final 20 m La Trinidad.....	91
Figura 51. Imagen original 30 m La Trinidad.....	92
Figura 52. Imagen binarizada 30 m La Trinidad.	92
Figura 53. Resultado final 30m La Trinidad.....	92
Figura 54. Ubicación de Vicente Guerrero y los Agaves localizados.	93
Figura 55. Imagen original 10 m Vicente Guerrero.....	94
Figura 56. Imagen binarizada 10 m Vicente Guerrero.	94
Figura 57. Resultado final 10 m Vicente Guerrero.....	94
Figura 58. Imagen original 20 m Vicente Guerrero.....	95
Figura 59. Imagen binarizada 20 m Vicente Guerrero.	95
Figura 60. Resultado final 20m Vicente Guerrero.....	95
Figura 61. Imagen original 30 m Vicente Guerrero.....	96
Figura 62. Imagen binarizada 30 m Vicente Guerrero.	96
Figura 63. Resultado final 30 m Vicente Guerrero.....	96
Figura 64. Ubicación de Francisco I. Madero y los Agaves localizados.....	97
Figura 65. Imagen original 10 m Francisco I. Madero.	98
Figura 66. Imagen binarizada 10 m Francisco I. Madero.	98
Figura 67. Resultado final 10 m Francisco I. Madero.	98

Identificación de agaves en Chilchotla Puebla

Figura 68. Imagen original 20 m Francisco I. Madero.	99
Figura 69. Imagen binarizada 20 m Francisco I. Madero.	99
Figura 70. Resultado final 20 m Francisco I. Madero.	99
Figura 71. Imagen original 30 m Francisco I. Madero.	100
Figura 72. Imagen binarizada 30 m Francisco I. Madero.	100
Figura 73. Resultado final 30 m Francisco I. Madero.	100

Índice de Tablas

Tabla 1. Características de equipo de computo	68
Tabla 2. Característica del dron Mavic Air 2.....	68
Tabla 3. Capital Humano	70
Tabla 4. Devaluación de equipo de cómputo y dispositivos.....	71
Tabla 5. Tabla recursos Tecnológicos	71
Tabla 6. Costo total del proyecto	72
Tabla 7. Promedio de los rangos de Erosión y Umbralización de acuerdo a la localidad y la altura.	106

Índice de gráficas

Gráfico 1. Rango de erosión y umbralización para imágenes a 10m de altura.....	101
Gráfico 2. Rango de erosión y umbralización para imágenes a 20 m de altura.....	103
Gráfico 3. Rango de erosión y umbralización para imágenes a 30 m de altura.....	104
Gráfico 4. Agaves detectados en una zona en específico de cada localidad.....	107

Glosario

Pixel: Elemento más pequeño de una imagen digital.

RGB: De las siglas en inglés red, blue y Green, las cuales si se combinan forman cualquier color.

Umbral o umbralización: Nivel de intensidad de gris a partir del cual todos los píxeles se considerarán blancos.

Binarización o binarizar: Conversión de una imagen a escala de grises en una imagen en blanco y negro.

IDE: Entorno de desarrollo integrado, es un sistema de software para el diseño de aplicaciones.

Escala de grises: Empleada a una imagen digital cuando a sus píxeles se les atribuye un valor de graduación gris.

Binario: Valor que puede ser 0 o 1.

Ruido de una imagen: Píxeles de una imagen que no forman parte de la misma provocando distorsión.

Bit: Es un dígito binario, es decir 0 y 1, el cual es una unidad más pequeña de información.

Filtro de una imagen: Es una máscara paso bajo o la operación de suavizado, que permite la eliminación de ruido.

Resumen

Las nuevas tecnologías están evolucionando de una forma impresionante, de tal forma que muchos procesos que se hacían de forma manual ya se están automatizando completamente, el uso de las mismas engloba una serie de herramientas que pueden ser aplicadas a diferentes campos. Los drones son parte de esta evolución debido a que al ser un vehículo aéreo no tripulado permite la facilidad de hacer recorridos a largas distancias y alturas, es por ello que se han ido mejorando adicionando cámaras y sensores. Actualmente los drones son empleados en diversos campos laborales y uno de ellos es en el de la agricultura ya que gracias a las características que posee se puede tener una visualización amplia de campos de cultivo y más, por ejemplo.

Esta investigación fue enfocada a la identificación y distribución de Agaves en las localidades de Acocomotla, Vicente Guerrero, Francisco I. Madero y La Trinidad, pertenecientes a Chilchotla Puebla.

Debido a que para poder realizar la localización de agaves silvestres presentes en la región es necesario recorrer en ocasiones grandes distancias por terrenos de difícil acceso, es por ello que se empleó una aeronave no tripulada (Dron) para facilitar el acceso hasta esas zonas, Se realizaron capturas fotográficas a 10, 20 y 30 metros de altura obteniendo un muestrario para aplicar las herramientas de visión por computadora, las imágenes obtenidas pasaron por un proceso de binarización y erosión para la eliminación de ruido de la imagen y con la circularidad de los objetos para detectar triángulos en el entorno representados por los agaves de la zona. Durante los recorridos se fueron registrando las coordenadas de los agaves encontrados por la zona, se utilizaron softwares como QGis, OziExplorer para introducir las coordenadas y realizar el mapeo de las localidades obteniendo una visualización de esa información con Google Earth.

Los resultados obtenidos ayudaron a elaborar un mapa de distribución y abundancia de agaves presentes en las localidades de la Trinidad, Acocomotla, Francisco I. Madero y Vicente Guerrero, el proceso de identificación se ve influenciado por los factores climáticos de las zonas muestreadas, así como el área de terreno en donde se localizan influye en la distorsión de la imagen produciendo un ruido imposible de eliminar, se logró determinar que la mejor altura para el análisis de la imagen depende del tamaño del agave.

Palabras clave: Agave, dron, procesamiento de imágenes, binarización y detección de figuras geométricas.

Abstract

New technologies are evolving in an impressive way, in such a way that many processes that were done manually are now being fully automated, their use encompasses a series of tools that can be applied to different fields. Drones are part of this evolution because being an unmanned aerial vehicle makes it easy to travel over long distances and heights, which is why they have been improving by adding cameras and sensors.

Currently, drones are used in various fields of work and one of them is in agriculture, since thanks to the characteristics it has, it is possible to have a wide visualization of crop fields and more.

This research was focused on the identification and distribution of Agaves in the towns of Acomotla, Vicente Guerrero, Francisco I. Madero and La Trinidad, belonging to Chilchotla Puebla.

Due to the fact that in order to locate wild agaves present in the region, it is sometimes necessary to travel long distances through difficult-to-access terrain, that is why an unmanned aircraft (Drone) was used to facilitate access to those areas.

Photographic captures were made at 10, 20 and 30 meters high, obtaining a sample to apply the computer vision tools, the images obtained went through a process of binarization and erosion for the elimination of image noise and with the circularity of the objects to detect triangles in the environment represented by the Agaves of the area.

During the tours, the coordinates of the agaves found in the area were recorded, software such as QGis and OziExplorer were used to enter the coordinates and map the locations, obtaining a visualization of that information with Google Earth.

The results obtained helped to elaborate a map of distribution and abundance of agaves present in the localities of Trinidad, Acocomotla, Francisco I. Madero and Vicente Guerrero, the identification process is influenced by the climatic factors of the sampled areas as well as the area of land where they are located influences the distortion of the image, producing noise that is impossible to eliminate, it was possible to determine that the best height for image analysis with the help of the drone is 20 meters.

Keywords: Agave, drone, image processing, binarization and detection of geometric figures.

I. Introducción

Desde la antigüedad el ser humano siempre ha buscado la forma de solucionar sus necesidades creando herramientas o maquinaria dedicada a ello, hoy en día las soluciones que se dan son con base a la tecnología ya que facilita los procesos y sus actividades cotidianas, obteniendo ventajas como un incremento en la velocidad de producción, evitar actividades que provoquen un riesgo para su integridad física, así como un margen de error mínimo para cada proceso.

La tecnología se va actualizando con el paso de los tiempos haciéndola más atractiva y a su vez más compleja, a tal grado que existen procesos que se llevan a cabo a través de imágenes, para realizar la programación de estas tareas es necesario tener en consideración factores útiles para el buen funcionamiento, uno de ellos es contar con un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) con el que se desarrollara la aplicación, una persona con los conocimientos necesarios capaz de solventar la necesidad, entre otros.

Si se combina la visión por computadora con un vehículo aéreo no tripulado se podría realizar infinidad de cosas, anteriormente los drones eran utilizados con fines militares, pero hoy en día se tienen versiones que cualquier persona puede tener. En el ámbito de la investigación los drones pueden ser una gran alternativa para llevar a cabo la recolección de muestreo fotográfico de superficies de difícil acceso.

Para trabajar una imagen es necesario contar con una buena aplicación para obtener un mejor resultado, para esto se puede utilizar el procesamiento ya que es una herramienta indispensable en aplicaciones de control industrial, control automático de la calidad, robótica, sensorial, telecomunicaciones, medicina, geociencias, ciencias ambientales, etc. (Por & Montes, 2010).

En la actualidad se han estado creando aplicaciones que funcionan en conjunto con los drones enfocados a diferentes fines, Aldana, Y. A. (2020) empleó el procesamiento de imágenes capturadas por un dron para identificar malezas en cultivos de arroz

Con respecto a los agaves su detección es compleja debido a su forma o en donde estén ubicados, algunos nacen de forma silvestre (descontrolada) ya que estos “son aquellos que crecen en los bosques o en los campos sin intervención humana” (Arias, 2021), por este motivo en donde se encuentran puede no ser el adecuado, provocando un difícil acceso y una compleja identificación.

Al hacer un recorrido por una zona determinada con un dron se tendrá una visión más amplia de la localización de agaves y además se le adiciona una aplicación que haga el procesamiento de las imágenes capturadas durante el recorrido su detección sería mucho mejor.

En el presente trabajo se muestra el desarrollo del proyecto pasando por diversas fases, como la investigación, que permite conocer herramientas, conceptos y estrategias, para llevarlo a cabo, la metodología empleada y resultados obtenidos.

II. Planteamiento del problema

La producción y aprovechamiento del maguey era un recurso económico natural el cual tenía mucha demanda en sus años, principalmente era empleado para la producción de una bebida fermentada que lleva el nombre de pulque.

¿Por qué esta bebida dejó de ser tan popular hoy en día? Existen dos posibles razones por las cuales hicieron que su producción fuera en declive, la primera fue a finales del siglo XIX y principios del siglo XX en donde la higiene tuvo demasiada influencia acerca de la preparación del pulque.

Dentro del gobierno de Porfirio Díaz se adoptaron las nociones que se tenían con respecto a la higiene en Europa, eso provocó que se implementaran Leyes y nuevos impuestos para la producción, además se tenía una gran competencia con el mercado cervecero. La segunda razón fue la competencia que se tenía entre la empresa cervecera y pulquera, lo cual provocó que se denominara al pulque como una bebida anti higiénica, ya que se propagó el mito de que se utilizaban heces fecales de vaca para lograr la fermentación, ocasionando una gran caída del mercado, otorgándole a la cerveza el lugar como la bebida más popular en ese tiempo.

El impacto fue tan fuerte ya que Rudiño (2015) indica que en los años 90's había unas 900 pulquerías en la ciudad de México, sin embargo, en los últimos años se contabilizaron únicamente 60. El mismo autor menciona que gracias a los mitos inculcados a los consumidores acerca de la higiene del pulque “hizo que las pulquerías redujeron su venta de dos, tres o cuatro barriles (de 250 litros cada uno) diarios a sólo uno.”

Gracias a estos factores, las personas que se encargaban de cultivar el maguey para su producción fueron desapareciendo y las nuevas generaciones no conocen de ello. Esto incluye a los habitantes de las comunidades de Acocomotla, La Trinidad, Vicente Guerrero y Francisco I.

Madero pertenecientes a Chilchotla Puebla, puesto que la falta de conocimientos acerca del aprovechamiento de los magueyes provoca un crecimiento de manera silvestre descontrolado y no hay un programa adecuado de aprovechamiento sustentable ya que se desconocen cuántos ejemplares existen y en donde se localizan.

La problemática que se trató de solucionar fue apoyar en la localización de los agaves en las localidades antes mencionadas ya que se encuentran distribuidos en zonas de difícil acceso, provocando complicaciones para llegar a ellos para su estudio reduciendo costos y tiempo.

III. Objetivos

Objetivo General

Identificar plantas de agave que se encuentren sembradas en una zona de difícil acceso a través de procesamiento de imágenes y vision learning en una fotografía captada con un dron en las localidades de Chilchotla, Puebla para evitar complicaciones al acceder a ellas y a su vez reducir costos y tiempo.

Objetivos específicos

- Realizar recorridos a las comunidades pertenecientes al municipio de Chilchotla Puebla para realizar sobrevuelos con el dron a 10 m, 20 m y 30 m de altura y así obtener imágenes aéreas de los agaves que puede haber en dicha zona.
- Localizar todos los agaves vistos con el dron y marcar la ubicación con un GPS eTrex 30 Garmin.
- Aplicar filtros a una imagen en escala de grises a través del IDE MatLab que permita hacer la eliminación de ruido de la imagen.
- Aplicar la herramienta de circularidad de objetos a la imagen sin ruido de MatLab para hacer la detección de *Agaves*.
- Usar QGIS para elaborar el mapeo de los municipios recorridos y señalarlos en Google Earth.
- Emplear el software OziExplorer para ingresar los puntos tomados con el GPS y así obtener la ubicación de los agaves en Google Earth

IV. Hipótesis

Debido a la presencia de agave en zonas de difícil acceso se pretende que el análisis de imágenes capturadas con el dron ayudará a su identificación y reconocimiento, favoreciendo la localización con una certeza del 80% a una altura definida.

V. Justificación

La secretaria de medio ambiente y recursos naturales (2019) menciona que México cuenta con 223 de 273 especies de Agavaceae, las cuales son encontradas en zonas áridas y semiáridas de todo el terreno nacional, agregando a ello los estados donde se localiza la mayor parte de Agaves pulqueros son Tlaxcala, Estado de México, Puebla e Hidalgo.

Siendo Puebla el estado donde se encuentra el municipio de Chilchotla el cual es el lugar donde se llevará a cabo el proyecto para detectar agaves en estado silvestre, el cual facilitará su identificación evitando largas caminatas por la zona con el objetivo de localizar, identificar y marcar cada una de ellas para su estudio.

El análisis de las imágenes podrá ser empleado por personas que se especialicen en el ámbito de la investigación de agaves, puesto que es de utilidad tener una herramienta capaz de hacer la detección de ellos a largas distancias. Con este estudio se hace evidente la falta de implementaciones tecnológicas en la investigación en áreas enfocadas a la agricultura.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 Estado del arte

Los vuelos con aeronaves no tripuladas se han vuelto muy innovadores, debido a que se pueden llevar a cabo actividades que van de la diversión hasta la investigación, con respecto a este último punto se han desarrollado diversos proyectos enfocados al desarrollo de aplicaciones que permiten el monitoreo desde las alturas con la finalidad de obtener una mejor visión de un espacio determinado, estos podrían tener un impacto significativo para el sector agrícola en cualquier área que se puedan utilizar.

1.1.2 Imagen digital

Antes de la era de la digitalización existían las imágenes analógicas, estas estaban dadas por procesos químicos relacionados con la plata. Estas imágenes no podían ser procesadas a comparación con las digitales ya que las análogas eran impresas y no había la posibilidad de manipularlas.

Una imagen digital es la representación de una matriz numérica bidimensional, de acuerdo al tipo de imagen será conocida como mapa de bits o imagen vectorial, estas dos tienen ciertas características que las hacen únicas ya que una está compuesta por líneas y curvas mientras que la otra está formada únicamente de píxeles. Durante el desarrollo de este proceso se estará trabajando con imágenes digitales (mapa de bits) siendo estas las que serán capturadas por el dron a diferente altura y ángulo.

1.1.3 Imagen vectorial

Una imagen vectorial es aquella que está compuesta por figuras geométricas, es decir que una imagen de este tipo será formada por cuadrados, círculos, triángulos, etc. Al aplicar un procesamiento será más sencillo de manipular ya que por contener figuras geométricas usan

fórmulas para su elaboración, de igual forma es más fácil que sufra un cambio al alterar una de ellas provocando un cambio dentro de la estructura de la imagen.

A diferencia de un mapa de bits la imagen vectorial es más sencilla puesto que al estar formada por figuras geométricas y fórmulas matemáticas no es posible que sus plasmaciones sean muy detalladas, de cierta forma es posible sobreponer figuras para llegar al resultado, pero no sería tan detallado.

1.1.3.1 ¿Cómo identificar una imagen vectorial de un mapa de bits?

Se pueden identificar de una forma muy sencilla ya sea a simple vista por las características ya antes mencionadas (identificación de figuras geométricas) o si se le hace un zoom a la imagen en caso de que sea un mapa de bits sufrirá una distorsión puesto que entre más acercamiento se notan los píxeles con la cual está formada, sin embargo, a la imagen vectorial por más zoom que se le aplique no sufrirá una distorsión y en caso de que lo haga será mínimo.

1.1.4 Mapa de bits

Un mapa de bits está formado por únicamente píxeles, un píxel según la Real Academia Española (RAE), (2023) “Es el elemento más pequeño de los que componen una imagen digital” a más píxeles la calidad de la imagen será mejor y por ende más pesada. Al aplicarle un procesamiento a esta imagen será más complejo puesto que cada píxel contiene información y la computadora deberá hacer toda esa lectura de cada uno para llegar al resultado que se desea, haciendo de esto un proceso más tardado a comparación con el de una imagen vectorial.

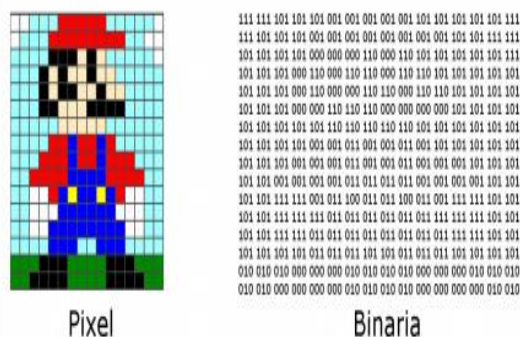
Actualmente las imágenes que se utilizan son de este tipo, un claro ejemplo de esto son las que nuestro dispositivo móvil puede sacar y las tenemos almacenadas dentro de él, es por ello que la cámara del mismo tiene una resolución en píxeles, a mayor número de píxeles se obtendrá una

mejor resolución de la imagen o dicho de otra manera mejor calidad. Los píxeles de la imagen son notorios al momento de hacerle un zoom y poco a poco se va distorsionando.

Como ya antes mencionado un pixel puede almacenar información, esta será el color y la posición, además para una mejor representación estos serán agrupados en matrices provocando una mejor visualización y procesamiento. Cuando se quiere definir un color de una imagen se hace a través de los pixeles, cada uno tiene un tono diferente, sin embargo, no es un color en sí, sino que es una serie de números que indican el tono, estos van desde el 0 hasta el 256 esto sucede si se le aplican 8 bits por píxel, aunque también se puede trabajar con 24 bits (4 bytes) lo que nos daría como resultado 16 millones de combinaciones de colores posibles. El espectro de colores que se maneja es el rojo, verde y azul o como también se le conoce “RGB”, el color que más predomina entre esos tres será el que tenga el valor más grande para ello se hace una resta para obtener el color indicado la cual es R-G-B, el orden de esta operación puede cambiar dependiendo del color y el tono que se quiera obtener.

dependiendo del color y el tono que se quiera obtener.

Figura 1.
Representación binaria de una imagen

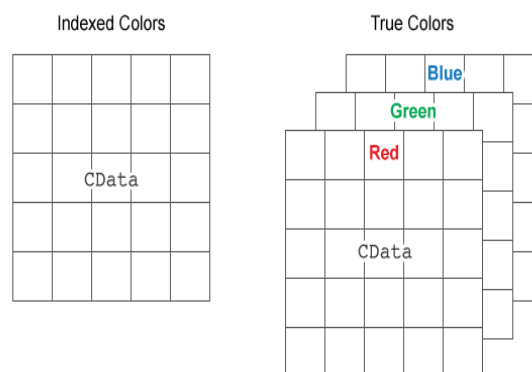


Nota: En la figura de arriba se muestra cómo sería la representación de los valores de una imagen si estuvieran en base binaria. Por Zapotecatl, J. (2022), En: <http://www.pensamientocomputacional.org/index.php/curso-pc/leccion-informacion>

En la figura 1 se muestra una representación gráfica de la estructura que la componen, teniendo como resultado números que aparentemente son números aleatorios, sin embargo, cada uno de ellos contiene un color diferente, por ejemplo, si nos ubicamos en la esquina inferior derecha tenemos el número en binario 010 que representa al color verde mientras que en la esquina superior izquierda tenemos 111 que representa al color blanco, a esto se refiere con la información que puede contener un pixel. Como antes mencionado el color se forma a través de la superposición de las capas de los colores RGB vea figura 2 para una mejor comprensión.

Figura 2.

Capas RGB de una imagen.



Nota: La imagen representa las tres capas (RGB) con las cuales se puede formar cualquier color. Mathworks (2022),
En: <https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/matlab.graphics.primitive.image-properties.html>

1.1.5 Binarización de una imagen

Al hacer el procesamiento de la imagen que se utilizó para el conteo de los agaves se tuvo que hacer una reducción de información de la misma. Cuando se habla de reducción de información nos referimos a la eliminación de imperfecciones y para ello se pueden utilizar diferentes procesos, sin embargo, se aplicó la binarización dentro del código de Matlab para resaltar de mejor forma el color rojo que se le puso como marca a la planta de agave y realizar su conteo. Pero ¿Qué es binarización? Dentro del procesamiento de imágenes este término se refiere a transformar una imagen a un valor booleano (0 y 1), en donde 1 equivale al color blanco y 0 al

color negro la forma en la que se hace esta conversión es que los pixeles claros se van a pasar a color blanco (1) mientras que los más oscuros a color negro (0), cabe mencionar que el reflejo de la luz en la imagen puede afectar en este proceso ya que provoca que el color oscuro tome una tonalidad clara provocando que esos pixeles se conviertan en 1 y por ende nuestro resultado puede tener un cambio significativo. Este proceso es útil para detectar objetos y contabilizarlos, es por eso que en la mayoría de los casos se opta por realizar este método a la imagen para un mejor proceso. En la elaboración del programa de conteo de agave se utilizó la binarización para detectar un color en específico convirtiéndolo en color blanco haciendo la contabilización de este mientras que los demás tonos se pondrán en negro (0).

Para llevar el proceso se pueden utilizar diferentes líneas de código según la plataforma Mathworks cada una con una característica especial, en algunos casos se puede incluir una discriminación a la imagen para obtener resultados más certeros.

```
BW = imbinarize(I)
```

```
BW = imbinarize(I,method)
```

```
BW = imbinarize(I,T)
```

```
BW = imbinarize(I,'adaptive',Name,Value)
```

imbinarize(I) crea una imagen binaria a partir de la imagen en escala de grises 2D o 3D reemplazando todos los valores por encima de un umbral determinado globalmente por s y estableciendo todos los demás valores en s.II0

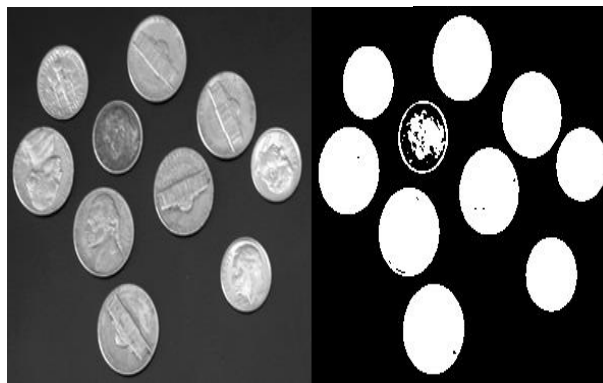
imbinarize(I,method) crea una imagen binaria a partir de la imagen utilizando el método de umbral especificado por : o .Imethod'global''adaptive'

imbinarize(I,T) crea una imagen binaria a partir de la imagen utilizando el valor de umbral .

Puede ser un umbral de imagen global, especificado como un valor de luminancia escalar, o un umbral adaptable localmente, especificado como una matriz de valores de luminancia.IIT.

imbinarize(I,'adaptive',Name,Value) crea una imagen binaria a partir de la imagen utilizando pares nombre-valor para controlar aspectos del umbral adaptativo.

Figura 3.
Imagen en escala de grises y binarización

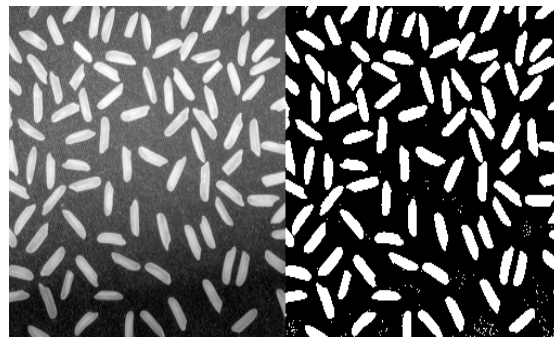


Nota: en la figura de arriba se muestra la binarización de las imágenes de una las monedas previamente convirtiéndolas a escala de grises. Por Mathworks. (2022), En: <https://la.mathworks.com/help/images/ref/imbinarize.html>

Tal como se nota en la figura 3 esta es la clara representación de la binarización en donde el color de las monedas es tomado como los tonos más claros son convertidos a uno.

Figura 4.

Imagen binarizada sin ruido.

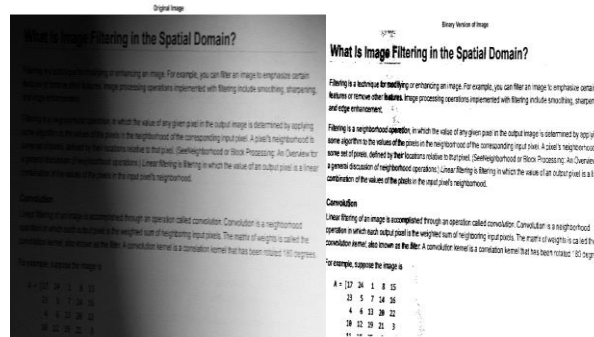


Nota: en la imagen de arriba se muestra de igual forma la binarización a excepción de que en este caso se está haciendo la eliminación de ruido dejando así las figuras blancas más grandes. Por Mathworks. (2022), En: <https://la.mathworks.com/help/images/ref/imbinarize.html>

En la figura 4 se muestra la imagen binaria incluyendo un filtro para eliminar el exceso de ruido que contiene, obteniendo como resultado la imagen procesada de la derecha.

Figura 5.

Imagen binarizada de un texto.



Nota: en la figura que se muestra se hace una binarización para eliminar la sombra existe en la hoja de papel para tener una mejor visualización de la misma. Por Mathworks. (2022), En: <https://la.mathworks.com/help/images/ref/imbinarize.html>

Si cuando se aplican las dos funciones anteriores se puede obtener un resultado como el de la figura 5 puesto que se está aplicando la binarización más un filtro usado para hacer la

discriminación de ruido que puede existir, además se está haciendo la eliminación de la zona oscura de la parte derecha de la imagen.

1.1.6 Umbralización

La umbralización es un término que se puede definir como la segmentación de una imagen para aplicar un rango de umbral que nos permite hacer la identificación de los pixeles que se encuentren dentro del mismo y así resaltar el objeto deseado. Esta herramienta trabaja en conjunto con la binarización porque el rango de umbral que se le asigna es para la identificación de algo y el otro hace que ese objeto se ponga en 1 mientras que lo demás será cero.

Si se quiere ocupar esta herramienta de forma correcta se puede sacar el histograma de la imagen a procesar, un histograma según la universidad de Sevilla (s.f.) “Es una gráfica que indica el número de pixeles por cada nivel gris que aparece en la imagen” (p.17). Gracias a la información que es arrojada con dicha grafica se puede determinar el tipo de umbralización que se le puede aplicar a la imagen. Existen diversos métodos de aplicar un umbral a una imagen los cuales hacen el uso de fórmulas matemáticas que al sustituir los datos con los obtenidos en el histograma se puede llegar a un rango de umbral más exacto para la detección de aquellos pixeles u objetos de dicha imagen. Algunos de los procesos más utilizados son los siguientes:

1.1.6.1 Método de los dos picos

Al obtener el histograma este debe de tener mínimo dos picos y el umbral adecuado es el valor más pequeño entre estos dos, para seleccionarlo primero se debe de identificar los dos picos más altos del histograma y de esos dos elegir el más pequeño. Una forma sencilla para encontrar este segundo valor es aplicando la siguiente fórmula matemática.

$$\max[(k - f)^2 * h(k)], \quad 0 \leq k \leq 255$$

En donde k es el nivel de gris considerado, $h(k)$ el valor del histograma en k y f el nivel de gris del primer pico más alto. Una desventaja de aplicar este método es que es muy sensible al ruido y por ende el resultado no puede ser el más indicado si se está buscando precisión.

1.1.6.2 Método de Otsu

Este método considera que el histograma es bimodal y se itera a lo largo del histograma calculando para cada valor estimado posible de umbral la varianza de pesos dentro de cada clase o modo. Para poder hacer el desarrollo de este método se puede seguir una serie de pasos los cuales incluyen la resolución de fórmulas matemáticas enfocadas a los datos que pueden ser obtenidos de la imagen.

- 1) Sacar el histograma de la imagen a procesar

$$P_1(K) = \sum_{i=0}^K p_i$$

- 2) Procesar las sumas acumulativas $P_1(k)$, $k=0, 1, \dots, L-1$

$$m(k) = \sum_{i=0}^k i p_i$$

- 3) Aplicar las medias acumulativas $m(k)$, $k=0, 1, \dots, L-1$.

$$m_G = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i$$

- 4) Aplicar la media global m_G .

$$\sigma_B^2 = \frac{[m_G P_1(K) - m(K)]^2}{P_1(K)[1 - P_1(K)]}$$

5) Aplicar la varianza entre clases

$$K^* = \max_{0 \leq K \leq L-1} \sigma_B^2(K)$$

6) Maximizar la varianza anterior

$$\mu^* = \frac{\sigma_B^2(K^*)}{\sigma_G^2}$$

7) Obtener la medida de separabilidad

El método de Otsu puede ser reducido a dos líneas de código que son escritas en el entorno de desarrollo integrado Matlab, al usar estas líneas se hace un proceso con mayor rapidez sin la necesidad de hacer todo el desarrollo matemático.

```
>> T = otsuthresh(counts)
```

```
>> [T,EM] = otsuthresh(counts)
```

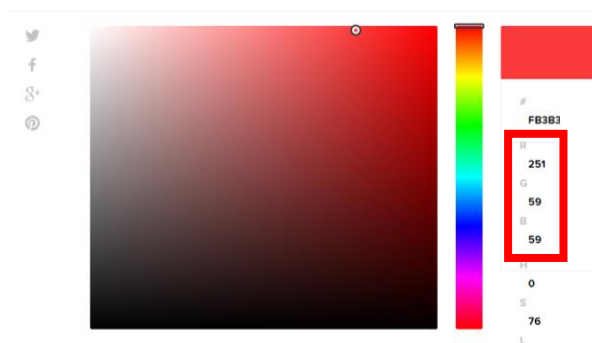
1.1.7 Descomposición de una imagen en sus colores RGB

Cuando se habla de este término se está refiriendo a la separación de las tres capas que conforman el color final de la imagen, como ya antes mencionado un mapa de bits se compone de tres capas principales que al ser fusionadas forman el color característico de la misma. Al aplicarle una descomposición a una imagen se pueden identificar objetos que posean el color que se le indique. Pero ¿Cómo hacer para identificar un color específico? Para realizar esto se aplican los términos mencionados anteriormente (binarización y umbralización) incluyendo el método de

descomposición, para este será no tan complejo de comprender dado que solo es necesario una resta entre el valor de los tres colores, para este punto es muy importante saber el tono del color a identificar porque dependiendo de este será el rango del umbral.

El valor de un color va del 0 hasta el 256, existen aplicaciones online que permiten seleccionar el color nos da los valores en hexadecimal, binario y RGB (figura 6), el que se tiene que utilizar es el último ya que de ahí se puede hacer la operación correspondiente, si se necesita un color rojo se le tendrán que restar los valores del azul y el verde, si se necesita el azul se restaran el rojo y el verde, pasa lo mismo con el color restante, cuando se hace esto el resultado que se obtenga será el rango de umbral a identificar y con ayuda de la binarización el color que se necesite será convertido en el valor booleano 1.

Figura 6.
Tabla de colores



Nota: En la figura se muestra una tabla de colores los cuales pueden ser modificados, en el lado superior se muestra los valores HEX, RGB y HSL del color seleccionado y en un costado es para seleccionar el color.

Para comprender de una mejor forma se puede utilizar el ejemplo dado por Roncagliolo (2018) titulado “Efecto publicitario rojo sobre grises”.

Figura 7.
Conversión de la imagen original a escala de grises.

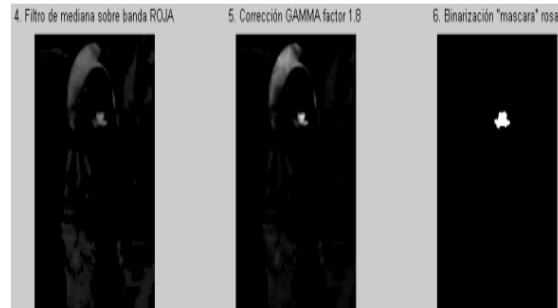


Figura 1

Nota: la imagen de arriba muestra el proceso para convertir una imagen con colores a una de escala de grises. Por Roncagliolo, p. (2018), En: http://www2.elo.utfsm.cl/~elo328/PDI14_EjemploPocesamientoColor.pdf

El objetivo de esa práctica es ubicar el color rojo de la rosa haciendo el proceso de binarización, umbralización y descomposición de la imagen para que el resultado se obtenga una imagen en escala de grises resaltando la rosa que la niña sostiene entre sus manos. Para comenzar se debe de hacer la lectura de la imagen y se tendrá que convertir a escala de grises tal y como se muestra en la figura 7.

Lo que sigue es aplicar un filtro de mediana sobre la banda roja para hacer la eliminación de ruido en la imagen teniendo este paso se procede a binarizar la imagen obteniendo como resultado el valor 1 en la rosa (figura 8).

Figura 8.**Binarización para la detección de la rosa.**

Nota: en la figura de arriba se muestran cuatro procesos los cuales es sacarle la media, una corrección, para al fin aplicar la binarización y solo se muestra la rosa. Por Roncagliolo, p. (2018), En: http://www2.elo.utfsm.cl/~elo328/PDI14_EjemploPocesamientoColor.pdf

El resultado final de este proceso es el siguiente (figura 9).

Figura 9.**Efecto publicitario.**

Nota: En la figura de arriba se muestra el resultado final obteniendo una imagen a escala de grises con un color en una zona en específico, en este caso la rosa. Por Roncagliolo, p. (2018), En: http://www2.elo.utfsm.cl/~elo328/PDI14_EjemploPocesamientoColor.pdf

1.1.8 Ruido de una imagen

Según Alexis & Carli (2014) “Se considera ruido a la aparición aleatoria de señales que no pertenecen a la imagen original” estas señales que el autor menciona son los pixeles que se encuentran dispersos en la imagen y son ellos los que ocasionan la distorsión y falta de claridad

en ella, esto por motivo de que los pixeles que están dispersos contienen información que no va relacionada con ese lugar, es decir puede contener un color diferente al que debería estar ahí.

El ruido que puede contener una imagen puede ser por causa del ambiente en el cual esa imagen sea capturada o puede ser añadido intencionalmente por una persona, Matlab permite añadir y eliminar ruido a mapas de bits que el usuario desee procesar. Esto se puede utilizar positivamente debido a que se pueden ocultar identidades de personas que estén en esa imagen, tal es el caso de las que hay en los reportes policiales que incluyen distorsión en el rostro de la persona pasa lo mismo en situaciones en las que no se quiere revelar la marca de productos que se estén utilizando en ese momento entre otras funciones que se le pueden otorgar, sin embargo para hacer el procesamiento de imágenes no siempre es conveniente que se tenga ruido ya que esto alteraría los resultados que se quiere obtener y de igual forma se haría más complejo el proceso. Dentro de este proyecto las imágenes que son captadas desde las alturas con el dron contiene mucho ruido, esto a simple vista no se nota y se ve como una imagen normal, sin embargo, al aplicarle la binarización se resaltan todos aquellos pixeles que no van acorde a la imagen, esto es ocasionado por las condiciones climatológicas, el terreno en donde se encuentre el agave, la intensidad de luz, etc

Existen varios tipos de ruido, cada uno de ellos con una característica única y formados de diferente manera, algunos son más complejos de eliminar que otros y unos son más comunes y otros no, a continuación, se muestran los tipos de ruido más comunes que se pueden encontrar dentro de una imagen.

1.1.8.1 Ruido Gaussiano

Es aquel que modifica el valor de los pixeles y al momento de ser procesada la imagen se denotan aquellos pixeles diferentes puesto que no se encuentran ubicados en la posición correcta

y por ende la información que contiene no concuerda con la del lugar en la se encuentra provocando se observen irrelevancias en la imagen

1.1.9 Transformaciones

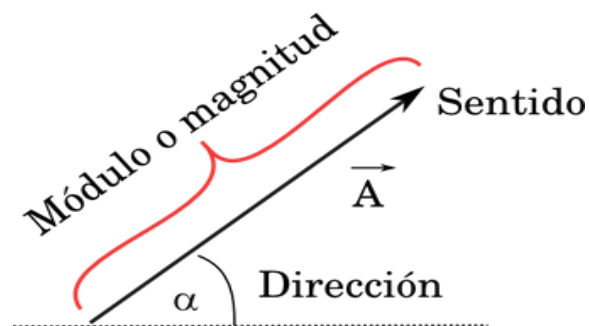
1.1.9.1 Trasnformaciones lineales

El álgebra lineal es una rama de las matemáticas que están encargada del estudio de espacios vectoriales, ecuaciones lineales, matrices, etc. Esta rama puede ser aplicada a una gran cantidad de áreas de estudio incluido el procesamiento de imágenes, ya que al ser matemáticas que se encargan a la resolución de matrices y vectores son de suma importancia dentro de este campo. Una matriz se puede definir como un conjunto de números ordenados en filas y columnas tal y como está representado en la figura 13, mientras que un vector es una línea recta que tiene una longitud, dirección y sentido obsérvese en la figura 14.

Figura 10.
Distribución de pixeles

		Columnas			
		0	1	2	3
Filas	0	1	3	5	7
	1	5	4	1	16
	2	7	9	61	13

Nota: la figura de arriba muestra cómo están distribuidos los pixeles dentro de un mapa de bits, los cuales están en fila y columnas. Por Castillo, J. (2017), En: <https://sql-listo.com/t-sql/funcion-split-por-columna-y-fila/>

Figura 11.**Representación gráfica de lo que es un vector.**

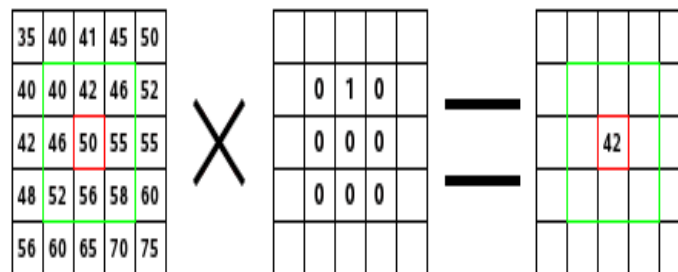
Nota: En la figura de arriba se muestra la representación de un vector, la cual es una línea recta que contiene una magnitud, dirección y sentido. Por Valenzuela Z., D. (2014), En: <https://www.fisic.ch/contenidos/introducci%C3%B3n-a-la-f%C3%ADsica/vectores/>

A esta rama de las matemáticas también se le puede conocer como transformaciones lineales y dentro del procesamiento de imágenes cumplen un papel muy importante, cuando se trata de la aplicación de filtros se está hablando de operaciones con matrices porque como ya antes mencionado un mapa de bits está conformado de píxeles que contienen información y a su vez están acomodados en forma de matrices, entonces un filtro de igual forma también está formado de la misma manera y dependiendo del tipo que sea será la operación que se realizará. Para aplicar un filtro a una imagen se necesita hacer operaciones con matrices, estas pueden ser sumas, restas, multiplicaciones, etc. Dependiendo del tipo de filtro a aplicar.

Cada filtro está formado por una matriz única que se irá sobreponiendo por toda la imagen obteniendo resultados nuevos, este es un proceso que Matlab realiza de una manera no muy compleja puesto que solo se necesita de ingresar las líneas de código correspondiente al filtro a aplicar y en automático hace las operaciones necesarias, de lo contrario se tendrían que hacer de forma manual y se convertiría en un proceso mucho más tardado y complejo.

El proceso de operaciones con matrices también es conocido como convolución a lo que la matriz del filtro obtiene el nombre de Kernel y puede estar formado por tipos de 3x3 o 5x5, aunque las más usadas son las de 3x3. Estos dos tipos mencionados funcionan de la misma manera, en decir se van sobreponiendo sobre toda la matriz con la cual está formada el mapa de bits, sin embargo, en una situación existe la posibilidad que al momento de hacer esta acción algunos bits de la imagen falten y por ello se van a rellenar con el valor 0 para así poder realizar de forma correcta la operación.

Figura 12.
Convolución de una imagen



Nota: la figura de arriba muestra cual es el proceso de convolución de una imagen para aplicar un filtro. Por Nieto et al., 2022.

La figura 12 es una clara representación del kernel que va a fungir como el filtro a aplicar a la imagen y así tener un resultado nuevo. La matriz que se muestra del lado izquierdo es la representación de una mínima parte del mapa de bits y la que está de lado derecho será nuestro kernel, en esta ocasión se está haciendo una multiplicación, pero como ya antes mencionado no es la única operación que se puede realizar, esto depende del tipo de filtro que se esté aplicando, pueden ser sumas, restas, divisiones, etc. Volviendo al ejemplo anterior se puede notar que en la matriz del mapa de bits se está señalando con un recuadro verde aquel apartado con el cual se realizará la operación y en el centro dentro del recuadro rojo está el bit que se modificará al terminar el proceso. Del lado derecho se tiene una matriz con las mismas dimensiones que la anterior sin embargo sólo contiene valores en el centro el cual está posicionado de la misma

manera que la de la izquierda, se puede observar que es un kernel de características 3x3. Una vez que ya se hicieron las multiplicaciones correspondientes se obtiene como resultado el valor del bit el cual es 42, para que se pueda observar con más claridad lo que se hizo al igual que la primera matriz esta también tiene el recuadro verde y el recuadro rojo solo que en este último el valor cambia.

Este proceso de operaciones con matrices se realiza las veces que sea necesario hasta cambiar por completo todos los valores de los bits de la imagen y una vez finalizado esto se puede decir que la imagen ya ha pasado por un proceso de filtración de ruido.

1.1.9.2 Transformaciones espaciales

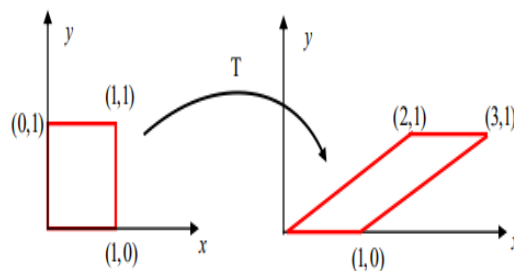
Este es un término relacionado con el álgebra lineal ya que dentro de esta rama de las matemáticas se manejan los espacios vectoriales, pero ¿qué es un vector? Es una línea recta que tiene una longitud, dirección y sentido, sabiendo esto nos podemos dar cuenta que una línea con estas características se encuentra en un plano cartesiano y se pueden mover en cualquier dirección. Las transformaciones espaciales es una de las dos operaciones básicas de las transformaciones geométricas. según Barreto (2009) “Las transformaciones Geométricas modifican la relación espacial entre píxeles” estas transformaciones se dividen en dos partes las espaciales y las de interpolación de los niveles de grises, de igual forma este autor menciona que “Una transformación espacial define la reubicación de los píxeles en el plano imagen” en esta parte del procesamiento de imágenes a diferencia de las transformaciones lineales esta no hace modificaciones en los valores de los píxeles, lo único que se hace es modificar la posición que tiene cada uno de ellos para obtener una rotación en la imagen. Al estar trabajando en planos cartesianos todos los movimientos que se le apliquen a la imagen serán a través de ángulos provocando un efecto visual diferente.

Las transformaciones a fines hacen lo mismo que una transformación espacial ya que puede manipular la posición de la imagen ya sea posicionándola con una inclinación vertical u horizontal. Este tipo de transformaciones trabajan con las coordenadas (x',y') sin embargo se manejan como coordenadas normales, es decir (x,y) , esto sucede por la transformación que se le aplica siguiendo las ecuaciones:

$$X'=ax + by + m$$

$$Y'= cx + dy + n$$

Figura 13.
Procesamiento de imágenes espaciales.

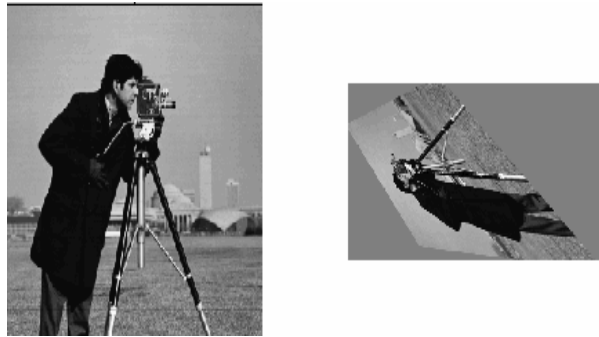


Nota: en la figura de arriba se muestra una representación en el plano cartesiano, la cual el cuadro rojo hace referencia a una imagen modificada. Por Barreto, S. (2013), En: <https://docplayer.es/11449377-Transformaciones-geometricas-sobre-imagenes-digitales.html>

El plano cartesiano que se muestra del lado izquierdo es la representación de la imagen en su posición original, en esta ocasión se está manejando una imagen 2D, se puede dar cuenta de esta ya que se está manejando coordenadas (x,y) y si fuera uno 3D sería (x,y,z) . el plano de la derecha muestra la imagen ya con una posición diferente, en este caso es una transformación con dirección horizontal, a simple vista se puede ver el cambio que existe sin embargo también se puede observar el cambio de los valores en las coordenadas (x,y) en los tres puntos que se muestran en el primer plano.

El ejemplo siguiente fue obtenido de la página oficial mathworks:

Figura 14.
Procesamiento espacial en MatLab.



Nota: la figura de arriba muestra la transformación espacial de una imagen en Matlab tal cual se mostró en el plano cartesiano Por Mathworks. (2022), En: <https://la.mathworks.com/help/images/ref/imwarp.html>

La imagen que se está usando de ejemplo recibe una transformación de posición la que se encuentra del lado izquierdo es la imagen en su estado original y la del lado contrario es la misma imagen solo que a esta ya se le aplicó el procesamiento de imágenes correspondiente para obtener el resultado que se está mostrado, a este tipo de efecto se le conoce como transformación proyectiva.

Cabe mencionar que no solo se puede hacer modificaciones de posición en las transformaciones geométricas, sino que también se puede recortar la imagen, cambiar de tamaño, rotar, etc. A

1.1.10 Circularidad

Este término es muy conocido y útil para la detección de figuras geométricas que pueden existir en una imagen, de igual forma también es detectado el tamaño de cada una de ellas y con ayuda de la sentencia “regionprops” se puede ubicar y señalar resaltandola con una línea de un color que se le indique. Según MathWorks (2021) la circularidad “especifica la redondez de los objetos, devuelta como una estructura con campo” partiendo de esta definición se hace notar que la circularidad no es precisamente para este tipo de figuras geométricas con esta forma, es muy útil para la detección de objetos específicos que se encuentran distribuidos dentro de una imagen.

Dentro del IDE Matlab este proceso va dado por una sentencia que es la siguiente *circularity*, como bien se sabe todos los procesos que se hacen en este IDE son a base de operaciones matemáticas y en esta ocasión se utiliza una fórmula en donde se involucra el perímetro, el área y la constante pi, la estructura de esta queda de la siguiente manera:

$$\frac{(4)(Área)(\pi)}{Perimetro^2}$$

A simple vista puede aparentar ser la fórmula del área del círculo pero ahí incluye el perímetro de la figura a calcular, esta es la fórmula general de este proceso sin embargo dentro de la programación se le pueden agregar complementos como la comparación con cierto rango que represente el tamaño de la figura, esto para hacer la discriminación de objetos que no estén dentro del rango y evitar alteraciones, también está el caso de que la estructura sea escrita de forma diferente pero se llegara al mismo resultado.

Dentro de la programación empleada para la detección de agave se utilizó esta herramienta puesto que la penca del maguey tiene una forma terminal de triángulo independientemente del tipo que este sea, en algunas ocasiones dichas hojas están un poco inclinadas facilitando su detección ver figura 15.

Figura 15.
Triángulos en un agave.



Nota: en la figura anterior se muestra un agave para visualizar y comparar que las pencas del mismo tienen una terminación en punta, a lo que se le puede atribuir la forma de un triángulo. Creación propia, 2021.

La imagen anterior corrobora lo dicho anteriormente ya que al estar las pencas de ese maguey inclinadas se puede distinguir con mayor facilidad los triángulos que se forman, al tomar la imagen desde las alturas con el dron será necesario procesarla para aplicar todas las herramientas necesarias para hacer la detección. MathWorks (2021) dice que “No se recomienda la circularidad para objetos muy pequeños, como un cuadrado de 3*3. Para estos casos, los resultados pueden superar el valor de circularidad para un círculo perfecto que es 1.”

1.1.11 AGAVE

1.1.11.1 ¿Qué es una Agave?

Los agaves son un tipo de planta que son nativos del continente americano, siendo México el país en donde albergan una gran diversidad de especies de agave, se puede tener una confusión con la distinción entre agave y el maguey, la más significativa es que el *Agave* es el nombre en la de la planta maguey y así mismo el maguey pertenece a la familia de las agaváceas. Se dice que el maguey:

Son plantas hermafroditas y monocotiledóneas, es decir que su semilla es indivisible, como el maíz. Tienen forma de piña de la cual salen sus pencas, rectas o dobladas, carnosas, de bordes espinosos, a veces de color amarillo, y con una púa en la punta. Sus flores (llamadas quiotes) llegan a medir 12 metros. El color va desde el verde claro hasta el verde oscuro casi púrpura, pasando por varios tonos de azul. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2016)

Cada tipo de maguey puede ser empleado para diferentes fines, sin embargo, va a influir bastante del tipo que este sea, puesto que tienen propiedades distintas a los demás, así mismo el proceso que llevan para el aprovechamiento de los recursos que este brinda tienen una variación a la hora de obtenerlos, un claro ejemplo es el agave pulquero y el mezcalero. El nombre con el cual se

identifican puede cambiar dependiendo de la zona en donde se encuentren, esto acontece a las costumbres que los habitantes del lugar tengan.

Figura 16.

Agave fotografiado en los recorridos de estudio.

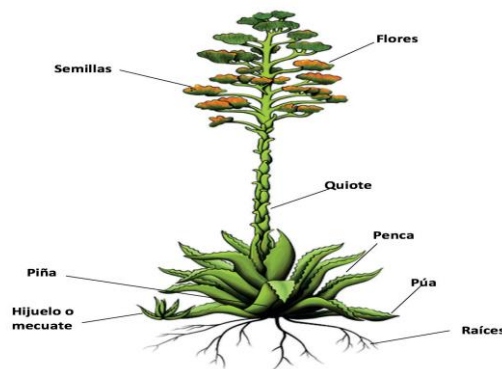


Nota: en la imagen de arriba se muestra fotografía de un agave que localizó en uno de los recorridos de campo a una de las comunidades. Creación propia, 2021.

1.1.11.2 Estructura de un Agave

Como toda planta el maguey también tiene una estructura física muy particular puesto que a lo largo de los años se tuvo que ir adaptando a las condiciones climatológicas de donde se encontrará, es por ello que normalmente puede ser hallados en zonas áridas en donde la escasez de agua es significativa provocando que la tierra sea poco fértil. La siguiente figura muestra las partes de las cuales está formada:

Figura 17.
Partes del maguey.



Nota: en la figura de arriba se muestran las partes de un agave. *Arqueología Mexicana*, Edición Especial No. 57, agosto de 2014, página 56. Ilustración de Carlos Alfonso León/Raíces.

1.1.11.3 Raíces

Empezando de la parte inferior de la planta se pueden encontrar las raíces, estas son las encargadas de obtener todos los recursos o nutrientes que el suelo en donde se encuentra les provee, cuando un maguey es de una edad muy corta y es arrancado la base de donde van las raíces se ve como si no tuviera nada ver figura 18, sin embargo, al ser sembrado nuevamente este va a poder desarrollarse normalmente.

Figura 18.**Raíces de un agave.**

Nota: en la figura de arriba se quiere mostrar la zona en donde crecen las raíces de un agave que se encontró en el recorrido de la localidad de Acocomotla. Creación propia, 2021.

1.1.11.4 Piña

Cuando se habla de la piña del maguey se está refiriendo al centro o corazón de esta planta de ella nacen las hojas y por el tamaño que tienen no es tan fácil de identificarla eso solo se hará cuando las hojas o pencas como es su nombre son retiradas, dependiendo del tipo de agave que sea será el tamaño de la piña. Esta parte del maguey es la que se aprovecha principalmente ya que de ella se saca los productos como el aguamiel, pulque, mezcal, etc. Solo que el proceso para obtener este producto es diferente para estos casos, por ejemplo, para obtener el aguamiel y el pulque, la piña se tiene que desollar y para sacar el mezcal la piña se tiene que despencar es decir se le tienen que quitar todas sus hojas hasta dejar solo la piña.

1.1.11.5 Penca

La penca es el nombre que recibe la hoja del maguey, dicho componente de esta *Agavaceae* según GELA (2021) describe a las hojas como “anchas, fuertes, suculentas, de color verde con largos ápices acuminados y sigmoideos, de tallo corto y macizo, con forma de roseta y tamaños que van desde 1.50 m a 3.40 m de altura y hasta 5 m de diámetro.” El autor menciona que son de

color verde, pero estas pueden llegar de las tonalidades verdes a azules, algunas serán un poco más cenizas que otras, o tendrán un color muy encendido, por ejemplo, el *Agave americana* tiene una tonalidad verde opaca o ceniza, de ahí proviene el sobrenombre “maguey blanco”, otro tipo es en *Agave salmiana* el cual tiene un verde más encendido y sin ninguna otra capa que altere su color.

Para poder identificar el tipo de agave que es, se basan principalmente en las pencas puesto que se puede obtener demasiada información con solo verlas, algunas de las características que se pueden localizar usando este método es la forma que tienen las espinas, los colores que estas poseen y las tonalidades de las pencas, en ocasiones se puede tener dos colores dentro de la hoja, el color secundario puede tener tres tipos de distribución en la hoja según SAGARPA & SNICS (2014) estas son “marginal, central y reticulado”, de igual forma el autor menciona como observar otras características a considerar para hacer la identificación correctamente las cuales son: longitud, anchura, forma, forma en corte transversal, curvatura, borde, tamaño de las espinas, número de espinas, forma de la espina terminal, etc. Las espinas que contiene el *A. salmiana* y *americana* según “FICHAS TÉCNICAS DE LOS AGAVES DE OAXACA Proyecto NE012” (n.d.) Son de 0.5-2.0 cm de largo con una separación de 2-5 cm y de 0.5-1 cm de largo y con una distancia entre ellas de 3-6.5 cm respectivamente.

Al hacer una recopilación de la información y pruebas de campo en las comunidades pertenecientes al municipio de Chilchotla Puebla y siguiendo las recomendaciones de “GUÍA TÉCNICA PARA LA DESCRIPCIÓN VARIETAL” (SAGARPA & SNICS, 2014) se logró identificar magueyes como el *A. salmiana* y *A. americana*.

1.1.11.6 Púa

La púa o espina terminal como se le conoce normalmente es un elemento importante de la penca del maguey, el tamaño y color de esta es una vertiente significativa para el reconocimiento del *Agave*, está ubicada al final o punta de la penca, de ahí proviene el nombre de “espina terminal”, algunas de ellas suelen ser cortas o largas, gruesas o delgadas, existen cuatro tipos de espina terminal: recta, curvada, filiforme y polifurcada (SAGARPA & SNICS, 2014).

1.1.11.7 Quiote

El quiote es un tallo grueso y recto que brota del centro del maguey y puede alcanzar alturas promedio de hasta 10 metros (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2018). Este nace cuando el maguey llega a su punto de madurez, el lapso de tiempo que puede pasar es aproximadamente de 15 años, aunque dependerá del tipo que este sea. De este tallo se le pueden sacar recursos aprovechables tales como sus flores, utilizadas principalmente para la gastronomía. Cuando un maguey tiene quiote significa que su forma de reproducirse es sexual gracias a su reproducción natural gracias a la propagación y polinización de murciélagos, aves e insectos se puede realizar, esta es bastante importante ya que ella contendrá el material genético que se encuentra en el ambiente (dash workshops, 2018). Para los productores de pulque la visualización del brote del quiote en agaves pulqueros significa que ya está listo para poder ser capado y raspado, es decir que ya es un agave maduro. Cuando el *A. salmiana* este maduro empieza a brotar el quiote y puede llegar a medir de 4 a 8 metros de alto aproximadamente mientras que el *A. americana* de 8 a 9 metros.

Figura 19.**Quiote de un maguey adulto.**

Nota: La figura de arriba muestra el quiote de un agave maduro localizado en el recorrido de la localidad La Trinidad. Creación propia, 2021.

1.1.11.8 Flores

Las flores del agave nacen cuando este ya llegó a su punto de madurez, se ubican en el quiote y pueden estar distribuidas de acuerdo a la zona de fertilidad que este tenga, para que esto quede claro se presenta el siguiente ejemplo, la parte fértil del quiote en el *A. salmiana* según las “Fichas técnicas de los agaves de Oaxaca proyecto ne012” (n.d.) “es en el tercio o cuarto superior”, con este pequeño apartado se puede notar que las flores que nacen de este maguey están arriba de la mitad del quiote. Las flores que puede poseer un agave son de diferentes colores por lo regular son amarillas o rojizas, aunque la tonalidad va a depender del tipo de agave que sea.

Estas flores solo podrán ser vistas una vez en toda la vida de un agave ya que después de haber florecido este empieza a morir, durante este proceso se lleva a cabo la reproducción del mismo puesto que en la flora contienen las semillas y estas son esparcidas por la fauna, a esta forma de producción se le conoce como sexual, en el apartado anterior se mencionó que pueden ser ocupadas para la gastronomía sin embargo tanto el quiote como la flor son comestibles, debido a su sabor amargo, se recomienda desfleamar las flores hirviéndolas en agua y sal, quitarles el tallo y el pistilo para dejar sólo el pétalo (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2018).

Figura 20.

Flor de un quiote.



Nota: la figura muestra las flores de un quiote, las cuales pueden ser de diferente color dependiendo de la especie.
Creación propia, 2021.

La diversidad de agaves que existen está distribuida a lo largo del continente americano y México tiene la fortuna de tener el 75% aproximadamente de todas esas especies, en la investigación que se llevó a cabo se hizo el estudio y reconocimiento de dos tipos de *Agave* el *A. salmiana* y *A. americana* cada uno de ellos con sus respectivas variaciones genéticas, en este apartado se mostrarán las características de cada uno de ellos así como los usos que se les puede dar y las zonas donde mayor predominan.

1.2 Sistemas similares

“Drones y procesamiento de imágenes, una alternativa a la erradicación de malezas.” El autor proyecta un objetivo claro de su trabajo el cual es una alternativa para la erradicación de malezas en cultivos de arroz, a partir del procesamiento de imágenes obtenidas mediante vehículos aéreos no tripulados o drones, a lo que menciona que se detectara con una gran precisión ahorrándole al agricultor una reducción de tiempo a la hora de identificar hierba que no pertenece a su cultivo y los resultados que obtuvo fueron altamente favorables, debido a que aplica ciertas herramientas del procesamiento de imágenes para definir la longitud del cultivo y diferenciar con diferentes colores toda la maleza que se encuentre dentro del mismo, de igual forma menciona que al estar la plantación muy junta en ocasiones es difícil la detección pero el proyecto cumple su objetivo correctamente (Aldana, 2020).

“Procesamiento de imágenes multiespectrales adquiridas con drones para la caracterización de sistemas agroambientales.” Dentro de la metodología del proyecto se llevaron a cabo vuelos con el dron a lo largo de 6 meses tomando aproximadamente 600 imágenes por vuelo, cada prueba tenía una ruta programada a través de 12 puntos que eran en donde se encontraban las parcelas de café, el autor menciona ciertas recomendaciones como por ejemplo la altura aproximada con la que se puede trabajar ya que la luz no inflige demasiado en las tomas infrarrojas. Con todo el proceso que llevo a cabo obtuvo resultados que a través de la sobre posición y calibración de las imágenes que fueron tomadas se detectaba la floración de las parcelas y de igual forma aquellas posibles afectaciones que se tenían para una mejor cosecha (Hernández, D & Gulfo, J., 2018).

“Gestión y procesamiento de imágenes aéreas de caña de azúcar.” Los desarrolladores del proyecto tuvieron como uno de sus objetivos el monitoreo en tiempo real del sembradío de caña de azúcar ya que mencionan que existen probabilidades que se tengan pérdidas por causa del fenómeno el quebrado, el cual consiste en olas de viento que rompen la caña de azúcar, es por ello que emplearon la captura de imágenes multiespectrales con la ayuda de un dron, su método empleado los llevó a un resultado viable y eficaz capaz de monitorear la plantación en tiempo real evitando la pérdida de cultivo. (Schneider *et al*, 2015)

“Sistema de conteo forestal, agrícola y ganadero mediante procesamiento de imágenes.” El objetivo que se plantearon los autores del proyecto fue crear una aplicación capaz de contabilizar el ganado o la plantación ya que eso normalmente se hace de forma manual, obteniendo un largo tiempo en realizar dicha acción, el método que utilizaron para el desarrollo del sistema fue a través del procesamiento de imágenes, sin embargo lo dividieron en dos fases ya que con el dron tomaban videos aéreos mientras que una cámara estaba en tierra, los videos eran divididos en frames para poder hacer el conteo. Los resultados que obtuvieron fueron satisfactorios a tal punto que mencionan que el sistema está listo para ser comercializado. (Martínez *et al*, 2020)

“Detección de cercospora en agave a través del análisis de imágenes multiespectrales.” El objetivo del proyecto que presenta el autor es detectar la presencia de la enfermedad (*Cercospora agavicola*) en plantas de agave azul. La forma de lograrlo fue a través del procesamiento de imágenes multiespectrales, las cuales eran tomadas en el lapso de días que se presentaba la enfermedad y seguido a esto todo el tiempo en el que se desarrollaba, la captura de las imágenes era a cada agave y con una cámara en mano, sin embargo también realizó vuelos con un dron que le permitieron visualizar la superficie del terreno en donde se encontraba el sembradío, con base a esto los resultados que obtuvo fueron certeros debió a que se detectaba correctamente la

enfermedad sin embargo no se podía detectar desde las alturas debido a que la visión era muy limitada y por ello que se tiene que tomar solo a una planta a la vez para el muestreo. (Mancera Almeida, 2021).

Con base a los proyectos realizados se puede notar que los investigadores que fueron citados anteriormente ya trabajan con el procesamiento de imágenes capturadas a través de un dron, sin embargo los fines o los objetivos de sus investigaciones están enfocados a un campo o un tipo de plantación en especial, pero tanto los materiales que utilizan como el proceso con el cual trabajan es diferente al presentado a continuación, por ejemplo, los drones que utilizan son de diferentes características con el que se estará trabajando, además de acuerdo al tipo de procesamiento de imágenes con el que están trabajando será relacionado con la cámara a emplear, y lo que se detectara serán agaves silvestres ya que no están en sembradíos controlados por el hombre.

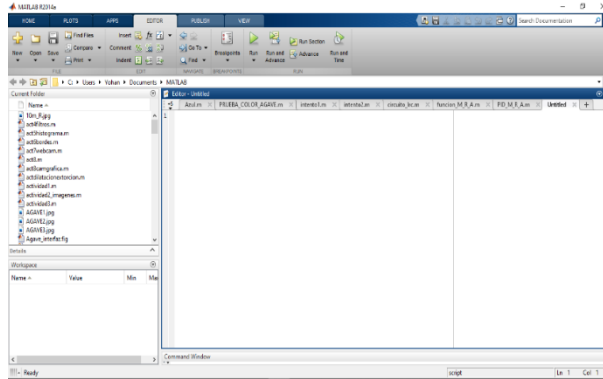
1.3 Tecnología

1.3.1 MATLAB

Figura 21.
Logotipo oficial de MatLab

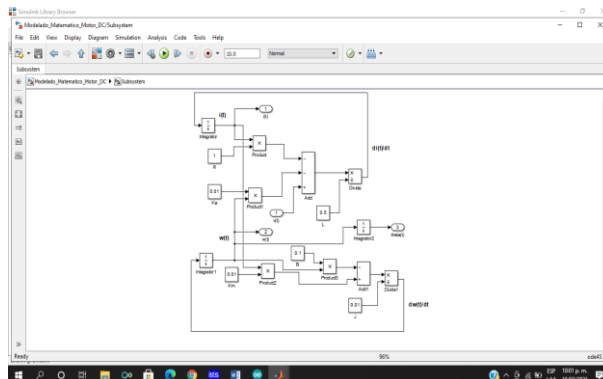


Matlab es un entorno de desarrollo integrado multiplataforma que ofrece herramientas para el desarrollo matemático, procesamiento de imágenes, visión artificial, entre otras. Este IDE contiene su propio lenguaje de programación, ofrece una serie de herramientas dentro de su menú las cuales nos permiten hacer la aplicación de fórmulas matemáticas, descargas de complementos para hacer conexiones a través de la red, gráficas, etc. (Figura 21). Para realizar el programa que estará a cargo del conteo de los agaves se utilizó este entorno por todas herramientas que nos brinda evitando que se hagan procesos largos y con fórmulas matemáticas complejas, tal es el caso del procesamiento de imágenes en este IDE si se requiere aplicar la umbralización a través del método de Otsu no será necesario hacer los siete pasos que se mencionaron anteriormente, sino que solo se tendrá que escribir dos líneas de código para aplicarlo.

Figura 22.**Interfaz de IDE MatLab.**

Nota: la figura de arriba muestra la interfaz de Matlab la cual contiene todas las herramientas que ofrece. Creación propia, 2021.

Matlab además de tener una ventana para hacer el desarrollo de líneas de código también posee un entorno llamado Simulink el cual permite hacer programación a través de bloques para hacer representaciones de procesos de modelado matemático, sin embargo, aquello que se hace con líneas de código también puede ser elaborado en simulink utilizando la programación por bloques (figura 22).

Figura 23.**Interfaz del IDE MatLab para la programación por bloques.**

Nota: la figura de arriba muestra la interfaz de Matlab en el apartado para programar por bloques, la cual contiene un pequeño ejemplo. Creación propia 2021.

Existen softwares que permiten hacer conexiones a través de internet, Matlab también permite esta opción utilizando la plataforma Thing Speak, es una plataforma en línea que permite hacer la conexión con este IDE, cabe mencionar que es perteneciente a Matlab y se puede percatar de ello puesto que al momento de registrarte te pide el mismo correo con el cual tienes la licencia de matlab. Con esta herramienta se puede hacer monitoreo a distancia aplicando programación por bloques o a través de líneas de comandos, para poder hacer esto se necesitan componentes alternativos que puedan tener el control de sensores para que estos manden la información que será mostrada en la plataforma, dichos componentes pueden ser un Arduino o una ESP8266.

1.3.2 QGIS

QGIS (Quantum Geographic Information System) por sus siglas en inglés, es un Software de información geografía, además de ser multiplataforma, contiene grandes herramientas para almacenar, editar compartir información para que sea representada de forma geográfica, dentro del proyecto fue empleado para ingresar la información de las coordenadas de los agaves localizados y a su vez se identificó el municipio de Chilchotla con sus respectivas localidades y delimitaciones territoriales.

1.3.3 Google Earth

Es un sistema de información geográfica virtual de Google, en el cual se puede tener una vista satelital de cualquier parte del mundo, además brinda demasiadas herramientas, una de ellas es la localización y marcación las cuales fueron empleadas para este proyecto. Este sistema fue empleado en conjunto con QGIS debido a que la información que se manejo fue guardada en formato KML y este es abierto con Google Earth, aquí fue donde se hizo la identificación de los agaves marcados con el GPS y mostrados de manera gráfica.

1.3.4 DJIFLY

Es una aplicación móvil creada por DJI una empresa encargada del desarrollo y venta de drones e insumos de los mismos, este software es compatible para IOS y Android, es cual es indispensable para usar un dron de esa marca, esta se encarga de enlazar el dron con el móvil y te brinda las herramientas para configurarlo de acuerdo a su uso, en este caso se le agregaron las alturas a las que se hicieron las pruebas y las fotografías se fueron guardando en el dispositivo, a su vez indicaba si era seguro hacer el vuelo por la cantidad de satélites que estaban cerca y todas las advertencias causadas por los sensores.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1 Metodología

2.1.1 Metodología de la investigación

La metodología es indispensable para un proyecto ya que cuenta con procesos que sirven para un buen trabajo, estos son el diseño de muestreo, método de recolección de datos y el método de análisis de datos, esto fue fundamental para realizar la investigación y ver los conceptos y recolección de información para después procesarla.

La metodología utilizada en este proyecto es cualitativa transversal teórico-experimental debido a que utilizó la recolección de información y con base a ello ponerla a prueba a través de líneas de código y ejecutarlo para las pruebas y error hasta llegar a un resultado.

2.1.2 Metodología Técnica

Dentro de la metodología técnica que se va a utilizar es investigar todas las herramientas necesarias para el proyecto además de realizar recorridos a las comunidades de Acocomotla, Francisco I. Madero, Vicente Guerrero y La Trinidad para obtener fotografías a 3 diferentes alturas de la zona con ayuda de un dron, cuando se tenga una imagen con un posible Agave se irá a la zona y se marcará la ubicación con un GPS (eTrex 30 Garmin).

Al tener las coordenadas estas serán tratadas con un programa llamado OziExplorer para obtener la posición exacta de su ubicación, este software trabajará en conjunto con QGIS para obtener procesar el mapa de Puebla con sus delimitaciones territoriales de cada municipio y localidades, para que una vez teniendo esto se guarde en formato KML y pueda ser leído Google Earth, además de resaltar de una mejor forma las localidades y Agaves.

Hablando de la detección de Agaves es necesario usar el IDE Matlab, este al tener una gran variedad de herramientas nos permite hacer una conversión de las fotografías tomadas con el dron a escala de grises, siendo el primer paso y comienzo del código, lo siguiente es hacer la eliminación del ruido de la imagen para después aplicar la herramienta de circularidad de los objetos y así identificar si existe o no un agave en la imagen, al emplear más herramientas del mismo IDE se remarca el objeto y muestra un mensaje de acuerdo a lo encontrado.

2.1.3 Metodología Waterfall

La metodología Waterfall o metodología cascada fue la apropiada para implementar en el proyecto debido a que es un método secuencial en fases, el cual lleva un orden de no empezar hasta no terminar lo anterior. En este caso no se puede empezar con las pruebas sin antes tener un lugar determinado para realizarlas, al no hacerlo no se tendrán las imágenes y al no tenerlas el código no funcionará y por ende no se obtendrán resultados.

2.1.3.1 Fases de la metodología en cascada

Requisitos: se toman los requerimientos del proyecto para identificar las necesidades y así determinar los objetivos, viabilidad, hipótesis, tiempo de vida y costos.

Diseño: en este punto se crea la estructura del proyecto como el diagrama de flujo que se utilizara para el desarrollo y su buen funcionamiento.

Implementación: esta es la fase más corta de toda la metodología ya que es aquí donde el proyecto se pone en funcionamiento.

Verificación o prueba: este apartado es muy importante porque en este punto se tiene que hacer una revisión completa para corroborar el buen funcionamiento para después poder distribuirlo a los clientes.

Despliegue: En este punto se lanza el producto final al mercado para que cualquier cliente pueda hacer uso de él.

Mantenimiento: una vez lanzado se determina un tiempo determinado para darle mantenimiento necesario para que su ciclo de vida sea mayor.

2.1.3.2 Roles

- **Cliente:** Es aquella persona o empresa que tiene una necesidad y para solventarla se creara un software.
- **Jefe de proyecto:** Es el encargado de mantener una relación con el cliente para asuntos administrativos y económicos, de igual forma es el encargado de organizar a su equipo de trabajo para brindar buenos resultados en plazo de tiempo acordado.
- **Analista en requerimientos:** Es el encargado de revisar detalladamente la necesidad del cliente y así obtener una visión más clara de lo que se tiene que desarrollar, cabe mencionar que dicha persona puede ser consultada por cualquier integrante del equipo en caso de que se requiera.
- **Equipo de desarrolladores:** Dependiendo del tipo de proyecto a realizar será la cantidad de desarrolladores necesarios, estos son encargados de diseñar y ejecutar el código para la creación del software, de igual forma tendrán que darle mantenimiento al mismo, es por ello que deben tener los conocimientos necesarios.
- **Equipo de pruebas:** Son personas que realizan ejercicios prácticos con relación al funcionamiento del software para que así comprueben si existen errores o no, una vez concluido esto se emite un reporte para informar si es o no funcional, en caso de que no lo sea los desarrolladores tendrán que hacer las correcciones necesarias.

2.2 Estudio de Factibilidad

Este estudio se realiza para comprobar la viabilidad del proyecto, incluyendo sus costos y así verificar si en un futuro seguirá siendo rentable y también si su costo se devaluara, incluido a esto se corrobora si los costos de un futuro aumentarían con relación a los costos de los materiales y mano de obra.

2.2.1 Factibilidad técnica

El proyecto requirió de ciertos materiales para su desarrollo, que fueron proporcionados por la Universidad Interserrana del Estado de Puebla, Chilchotla.

- Equipo de computo
- Dron
- Internet
- Luz eléctrica
- GPS
- Transporte
- Área de trabajo

Se utilizaron herramientas de software: Matlab, Windows, Office, OziExplorer y QGIS.

2.2.1.1 Características del equipo de computo

Tabla 1
Características del equipo de computo

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD
EQUIPO 1	Modelo	Dell Vostro 3400
	Memoria RAM	8 Gb
	Disco Duro	1 Tb
	Procesador	Intel i3

Nota: La tabla muestra algunas de las características primordiales del equipo de cómputo con el que se realizó el proyecto.

2.2.1.2 Características del dron

Tabla 2
Característica del dron Mavic Air 2

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD
Dron	Modelo	Mavic Air 2
	Peso	570 gr
	Almacenamiento	8 Gb
	Pixeles	12 y 48 MP

Nota: la tabla muestra las características principales del dron utilizado para el proyecto.

2.2.2 Factibilidad económica

La factibilidad económica es el estudio de todos los gastos que se necesitaron para que el proyecto se pueda realizar, se tienen que tener en consideración tanto los recursos humanos como los materiales, una vez teniendo todo esto se obtuvo la cantidad total y con base a esto se llegó a una toma de decisiones.

En este apartado se mostrarán tablas correspondientes a costos del trabajo.

2.2.2.1 Capital humano

El recurso humano son aquellas personas que se involucraron en el desarrollo del proyecto, involucran asesores internos y externos que brindaron apoyo al desarrollador para implementar dentro del código los requerimientos necesarios incluyendo información necesaria para conocer de forma estructural un Agave. Por otra parte, el desarrollador debe de aplicar sus conocimientos por un periodo determinado y estar en constante comunicación con los cambios que se lleguen a suscitar.

Tabla 3
Equipo de desarrollo del proyecto

	Requerimiento	Gestión
Capital Humano	José Luis Trejo Mirón	Asesor Interno
	Michelle Chabeli Bonilla Castillo	Asesor Interno
	María Liliana Hernández Pérez	Asesor Externo
	Alberto Hernández Ortiz	Asesor Externo
	Ismael Colorado Zapata	Desarrollador
Experiencias	Eco biología	Personal para la asesoría y observación del funcionamiento del proyecto y sus resultados.
	Inteligencia Artificial	
Conocimientos	Morfología de un Agave	Personal encargado del desarrollo y manipulación del proyecto con conocimientos necesarios.
	Herramientas de mapeo	
	Manipulación de dron	
	Programación	

Nota: La tabla muestra la cantidad de integrantes del equipo de trabajo, así como los conocimientos que necesitan para llevarlo a cabo, el puesto que tendrán y su función. Creación Propia, (2021).

Tabla 4**Capital Humano**

Personal	No. De personas	Meses de trabajo	Salario mensual	Total
Asesor interno	2	6	\$18,677	\$224,124
Asesor externo	2	6	\$17,021	\$204,252
Desarrollador	1	6	\$15,677	\$94,062
			Total	\$ 522,438

Nota: La tabla muestra el capital humano que se requiere para la elaboración del proyecto, haciendo referencia al salario mensual con relación al área en donde se desenvuelven, así mismo la cantidad de meses de duración del trabajo y por ende un total. Creación Propia, (2021).

2.2.2.2 Recursos tecnológicos y devaluación.

Dentro de los recursos tecnológicos se encuentran aquellos dispositivos que se emplearon para para el desarrollo del proyecto, al igual que las licencias requeridas para utilizar las herramientas de Matlab, sin embargo, al hacer una adquisición de un aparato electrónico sufre una devaluación y según la Ley del Impuesto sobre la renta artículo 34 apartado VII las computadoras personales de escritorio y portátiles; servidores; impresoras, lectores ópticos, graficadores, lectores de código de barras, digitalizadores, unidades de almacenamiento externo y concentradores de redes de cómputo tendrán una devaluación del 30% anual (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2021).

Tabla 5
Devaluación del equipo de cómputo y dispositivos

Dispositivo	Cantidad	Precio de adquisición	Devaluación anual	Años	Precio actual
Dell Vostro 3400	1	\$13,000 (22	\$3,900	1	\$9,100
Mavic Air 2	1	\$34,399	\$10,319	1	\$24,080
Garmin etrex 32x	1	\$5,818	\$1,745	1	\$4,073
Motorola G8 Plus	1	\$4,000	\$1,200	1	
				Total	\$40,053

Nota: La tabla muestra los dispositivos utilizados para el proyecto con su precio de adquisición y su devaluación anual, así mismo se muestra el tiempo de uso para obtener el valor real de cada uno de ellos. Creación Propia, (2021).

Tabla 6
Tabla recursos Tecnológicos

Recurso	Cantidad	Precio por unidad	Costo resultante
Licencia para Matlab	1	\$3,472	\$3,472
Licencia para Windows	1	\$1,200	\$1,200
Dispositivos	4	\$40,053
		Total	\$44,725

Nota: La tabla muestra el costo de las licencias necesarias para el equipo de cómputo empleado para el proyecto, incluyendo el costo de los dispositivos obtenidos de la tabla de devaluación de dispositivos. Creación Propia, (2021).

2.2.2.3 Costo Total del proyecto

Una vez teniendo en cuenta toda la información con respecto a los costos de capital humano y tecnologías se muestra una tabla con el valor total del proyecto.

Tabla 7
Costo total del proyecto

Estudio económico	Costo generado
Recursos Humanos	\$522,438
Recursos tecnológicos	\$44,725
Total	\$567,163

Nota: La tabla muestra el costo total del proyecto. Creación Propia, (2021).

2.3 Comunidades consideradas para la investigación

2.3.1 Chilchotla

Chilchotla es un municipio ubicado en la sierra madre oriental dentro del estado de Puebla colindando con el estado de Veracruz, originalmente fue un asentamiento de grupos nahuatl aproximadamente en el año 1522. Es un lugar en donde predomina la agricultura y ganadería debido a una tierra fértil y aprovechable.

A sus alrededores posee ríos y riachuelos incluyendo cascadas que forman parte de su atractivo turístico.

El clima que posee es templado húmedo, con lluvias abundantes por lo que durante todo el año se pueden tener temperaturas muy frías y calurosas. Está formado por 36 comunidades de las cuales se acudieron a cuatro de las principales para realizar la investigación.

2.3.2 Comunidades de Chilchotla, Puebla recorridas

- **Acocomotla:** Ubicada a 4.4 kilómetros hacia el suroeste del centro de Chilchotla, tiene una altitud de 2,630 metros sobre el nivel del mar, su nombre proviene del nahuatl Atl-

cocomoltic que quiere decir agua ruidosa o que causa mucho ruido y es una de las comunidades más pobladas de Chilchotla.

- **Francisco I. Madero:** Ubicado a 4.7 kilómetros al oeste del centro de Chilchotla, con una altitud de 2719 metros sobre el nivel del mar, siendo la segunda comunidad más poblada.

- **La Trinidad:** Ubicado a 4.7 kilómetros al suroeste del centro de Chilchotla, con una altitud de 2653 metros sobre el nivel de mar, siendo la séptima comunidad más poblada.

- **Vicente Guerrero:** Ubicado a 5.1 kilómetros al oeste del centro de Chilchotla, con una altitud de 2706 metros sobre el nivel del mar, siendo la décima comunidad más poblada.

Al realizar los recorridos para la investigación por las comunidades mencionadas anteriormente, se pudieron observar similitudes y diferencias entre ellas, las cuales el tipo de suelo y clima es algo muy relevante.

Los Agaves son una especie que pueden crecer en casi cualquier tipo de clima y adaptarse a él perfectamente, siendo el *Agave salmiana* unos de los más predominantes en esas localidades.

Los Agaves localizados en esas localidades se encontraban dispersos por toda la zona, sin embargo, se pudieron encontrar algunos creciendo en un mismo lugar, a lo que se le da el nombre y el uso de barrera viva. Al hacer los recorridos se pudo notar que la mayoría crece a los

alrededores de las tierras de cultivo debido a la manipulación del ser humano porque los agaves de forma silvestre crecen en manchones o de forma colonial.

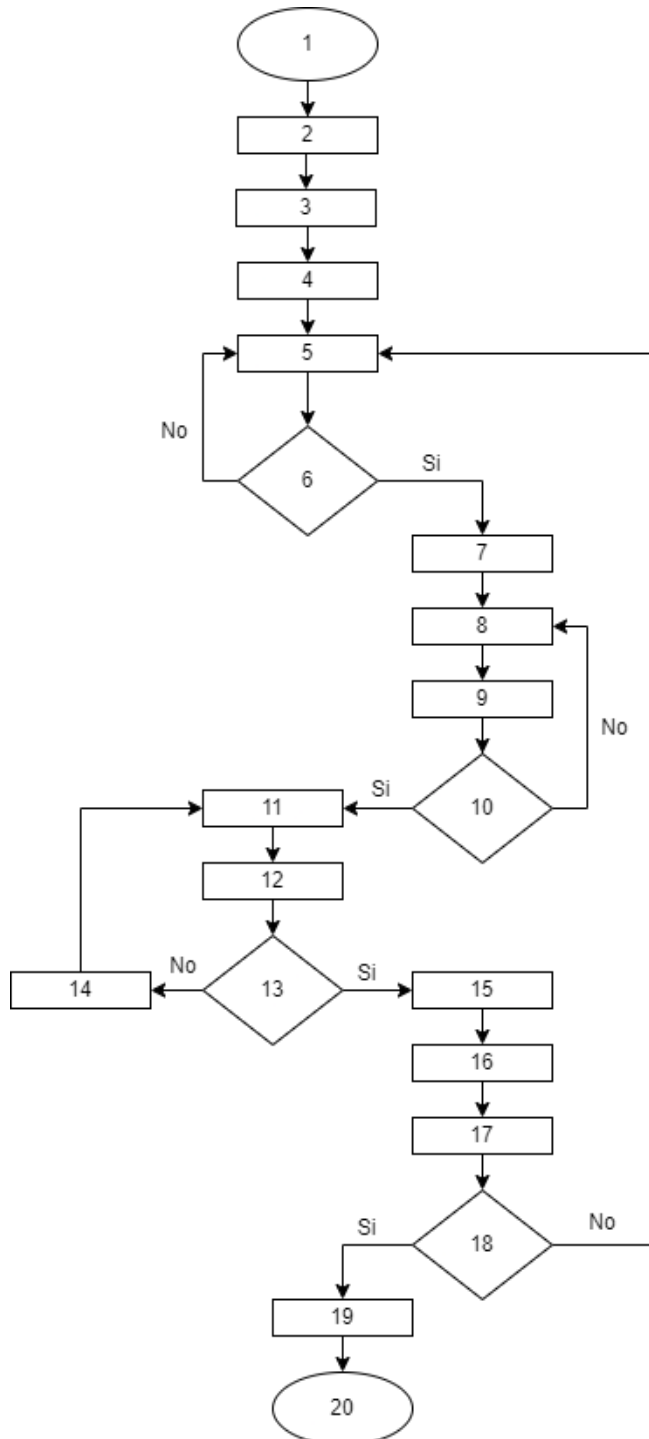


En este apartado se muestra una imagen en donde se puede observar en color rojo la delimitación territorial del municipio de Chilchotla Puebla, de igual forma adentro se puede notar las comunidades marcadas en color verde, amarillo, blanco y naranja representando a: Acomotla, Francisco I. Madero, La Trinidad y Vicente Guerrero respectivamente.

2.5 Desarrollo de metodología

2.5.1 Diagrama de flujo

En este apartado se muestra del lado izquierdo el diagrama de flujo que se utilizó en el proyecto y en el lado derecho la nomenclatura de cada acción.



1. Detección de planta de agave.
2. Recorrido
3. Volar dron
4. Tomar fotografía
5. Leer imagen en Matlab
6. ¿Se leyó correctamente?
7. Convertir a escala de grises
8. Binarizar la imagen
9. Mostrar imagen
10. ¿Se visualizan objetos?
11. Erosionar imagen
12. Mostrar imagen
13. ¿Se eliminó el ruido?
14. Ajustar rango de erosión
15. Detectar objetos
16. Medir el tamaño del objeto
17. Detectar triángulos
18. ¿Se encontraron triángulos?
19. Mostrar mensaje “Agave localizado”
20. Fin

2.5.1.1 Recorridos

El material que fue usado para el desarrollo del software se obtuvo de los recorridos en las diferentes zonas para tener material distinto y por ende obtener resultados variantes, el proyecto de investigación fue enfocado únicamente a 4 localidades pertenecientes al municipio de Chilchotla Puebla, dichos lugares llevan por nombre Vicente Guerrero, Acomotla, Francisco I. Madero y La Trinidad, se eligieron estos lugares puesto que se pueden encontrar magueyes distribuidos por toda la zona, cabe mencionar que algunos de ellos se encontraban dentro de propiedad privada, por ello se presentaba a la autoridad de ese lugar un documento en donde se explicaba el motivo de estar en ese lugar, esto se hacía con el fin de no invadir propiedad privada y tener autorización por parte de los pobladores para llevar a cabo el monitoreo con el dron.

Figura 24.
Recorrido en Francisco I. Madero.



Nota: Fotografía tomada al cuerpo académico de la UIEPCH, encargados del proyecto, durante el recorrido a la comunidad de Francisco I. Madero. Creación propia, 2021.

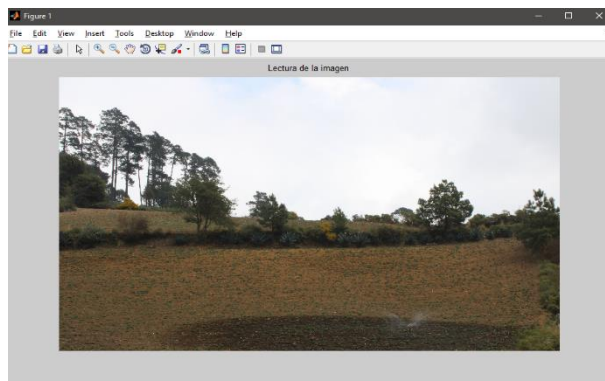
2.5.1.2 Elevación del dron y captura de imágenes

Una vez concedido el permiso para hacer el recorrido y sobrevolar el dron, se hicieron los preparativos como el ensamble de las hélices y enlazar el control con un dispositivo móvil que tenga la aplicación DJI FLY. Finalizado esto y ya estando el dron en el aire se tomaron fotografías a diferentes alturas las cuales son de 10m, 20m y 30m, esto con el objetivo de obtener diversidad de muestras.

2.5.1.3 Lectura de la imagen en Matlab

Para hacer la lectura de la imagen capturada durante el recorrido, se usó el IDE MatLab, para ello es necesario tenerlas previamente guardadas en la carpeta de archivos de este software, de lo contrario no se detectará. Se empleó la sentencia *imread* puesto que lee una imagen desde cualquier archivo de imagen gráfico compatible en cualquiera de las profundidades en bits compatibles (MathWorks, 2021). Por lo regular las imágenes que se leen son de 8 bits y son almacenadas en una clase uint8, también podría ser en uint16 pero esto dependerá del tipo de imagen con la que se esté trabajando.

Figura 25.
Lectura de la imagen original

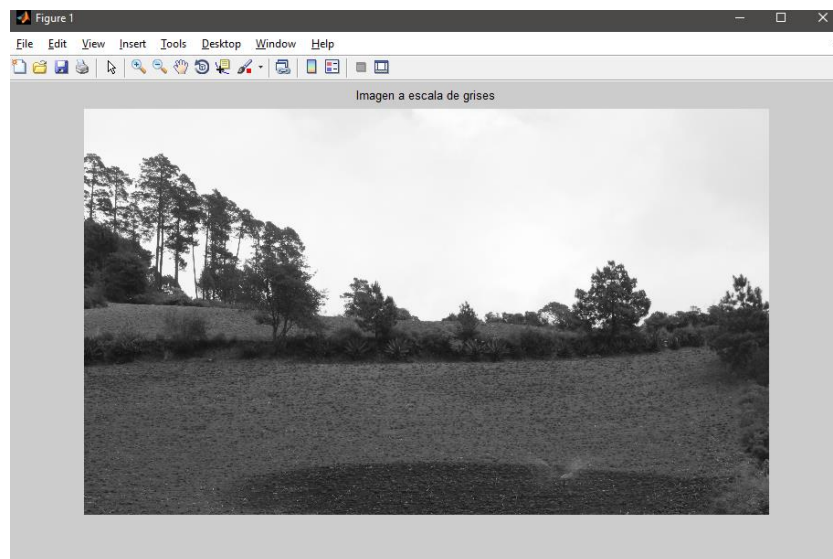


Nota: La figura muestra la imagen original leída en Matlab para comenzar con el procesamiento. Creación propia, 2021.

2.5.1.4 Convertir a escala de grises

Para que en un mapa de bits se puedan localizar objetos es necesario pasar por un proceso que se le puede llamar como conversión a escala de grises, en este punto lo que se hizo fue convertir la imagen leída anteriormente, es decir que en este proceso se eliminó por completo todos los colores que se tenían, dejando únicamente diferentes tonos de grises de tal manera que aún se siga conservando la forma de los objetos, una de las formas que MatLab nos permite hacer esta acción es a través del comando *rgb2gray* el cual convierte las imágenes RGB en escala de grises eliminando la información de matiz y saturación mientras conserva la luminancia (MathWorks, 2021). Cuando una imagen se encuentra en escala de grises la manipulación de ella es más sencilla ya que de este punto se comienza a hacer la manipulación de la imagen para obtener los resultados que el usuario requiera.

Figura 26.
Imagen en escala de grises.

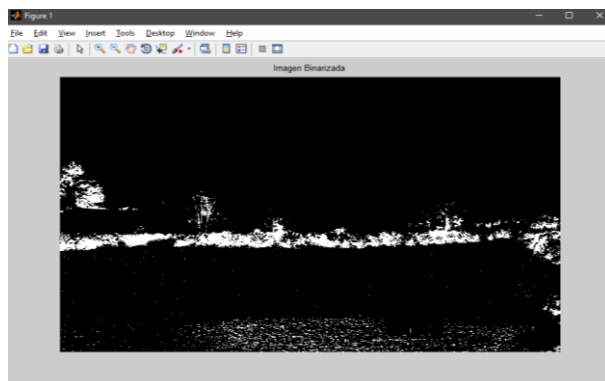


Nota: La figura muestra uno de los primeros y fundamentales pasos para poder realizar un procesamiento de imágenes, la cual es la conversión a escala de grises. Creación propia, 2021.

2.5.1.5 Binarizar la imagen

Cuando la imagen se encuentra en escala de grises se aplica una binarización, toma este nombre puesto que se le otorgan valores booleanos, en este caso fueron 0 y 1, este método es aplicado para resaltar los objetos que pueda contener el mapa de bits, la forma de este proceso es que las partes claras de la imagen serán convertidas en 1 provocando que sean blancas y las partes oscuras en cero, haciendo que estas se transformen a color negro, de esta manera se resaltara aún más el objeto dejando únicamente su forma y todo lo que lo rodea. Este es un proceso que se trabaja en conjunto con la umbralización puesto que permite aplicar un rango que será útil para discriminar las tonalidades claras de las oscuras.

Figura 27.
Imagen Binarizada.



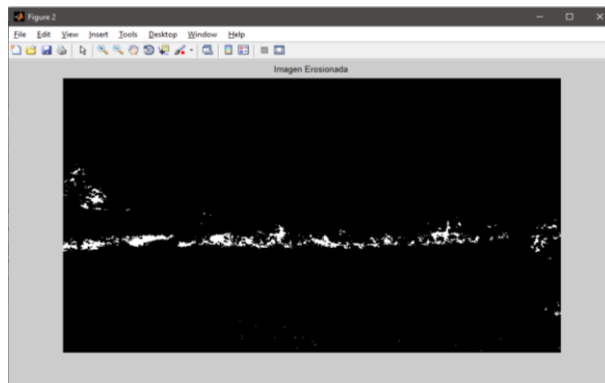
Nota: La figura muestra la binarización de la imagen según su umbral. Creación propia, 2021.

2.5.1.6 Erosionar imagen

Si la imagen ha sido binarizada correctamente se pasa al siguiente proceso el cual consiste en eliminar el ruido restante con una técnica que Matlab nos brinda dentro de sus herramientas, la erosión pertenece al grupo de las operaciones morfológicas y su función que desenvuelve es que elimina los píxeles en los límites de los objetos (MathWorks, 2021).

En este proceso se eliminaron aquellos pixeles insignificantes que se encontraban dispersos dentro de la imagen, este proceso fue utilizado como filtro debido a que uno de estos se emplea del álgebra lineal provocando una matriz que se sobrepone dentro del mapa de bits hasta lograr la eliminación de los pixeles dispersos o a lo que se le conoce como ruido.

Figura 28.
Imagen erosionada.



Nota: la figura muestra la eliminación del ruido de la imagen aplicando la erosión según el rango que necesite.
Creación propia, 2021.

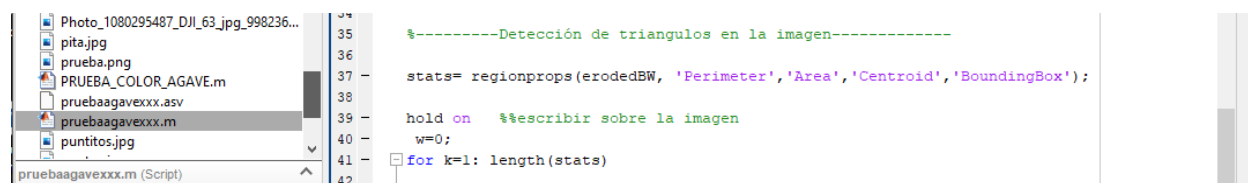
2.5.1.7 Mostrar la imagen

Al hacer todo el proceso anterior la imagen fue mostrada con la ayuda de una sentencia *showImage* de Matlab, con el fin de verificar si hizo la eliminación del ruido correctamente, para darse cuenta de eso solo fue necesario observarla, en este momento ya se tendría que observar de una forma más detallada los objetos que podría contener, en este punto si la imagen seguía teniendo mucho ruido se regresaba al proceso de erosión, solo que esta vez el valor de erosión es el que se tenía que ajustar hasta que se obtuviera lo deseado.

2.5.1.8 Detección de objetos

Para localizar los agaves fue necesario aplicar la detección de objetos, este proceso se llevó a cabo una vez que la imagen ya no tenía ruido, de esta forma sería mejor la identificación, para hacer esto se utilizó la sentencia *Regionprops* la cual nos indica las propiedades de los objetos que se localizan en el mapa de bits, para poder identificarlos de mejor manera, esta sentencia permitió encerrar el objeto en un recuadro de color rojo con la sentencia *BoudingBox*.

Figura 29.
Detección de objetos con Regionprops.



```

35 %-----Detección de triángulos en la imagen-----
36
37 stats= regionprops(erodedBW, 'Perimeter','Area','Centroid','BoundingBox');
38
39 hold on %%escribir sobre la imagen
40 w=0;
41 for k=1: length(stats)
42

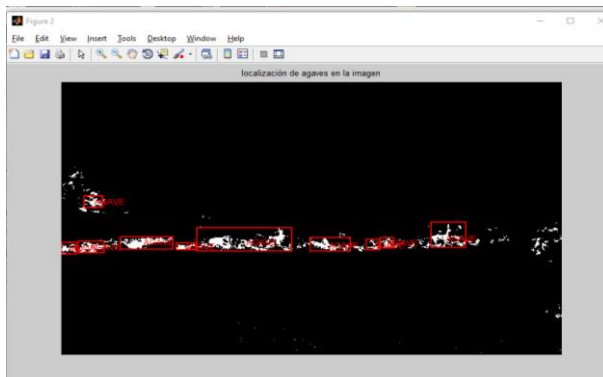
```

Nota: La figura muestra un fragmento del código haciendo referencia a la línea de Regionprops, encargada de detectar las figuras geométricas. Creación propia, 2021.

2.5.1.9 Detección de triángulos

En todo lo que nos rodea podemos encontrar figuras geométricas que forman dichos objetos, en la taxonomía de un agave denota el triángulo ya que la punta de sus hojas lo tienen de un forma muy representativa, es por ello que para detectar los *Agaves* se utilizó la herramienta de circularidad de los objetos, esto nos permitió localizar dicha figura en la imagen que anteriormente ya se habían localizado todos los objetos que la formaban, en este proceso se tomó en cuenta la magnitud de los triángulos, se debe de tener en cuenta si el área debe de ser mayor a 3000 pixeles (para ser detectado) y entonces se encierra en un rectángulo el Agave.

Figura 30.
Detección de triángulos en la imagen.

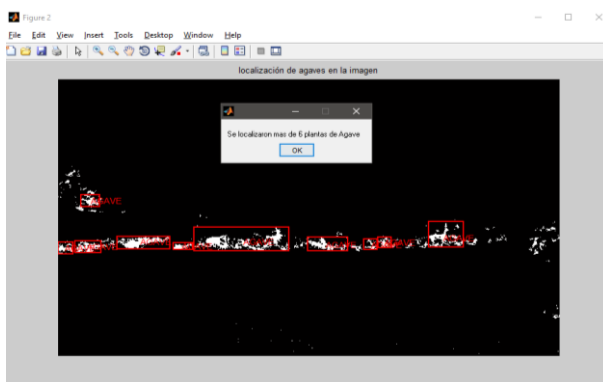


Nota: La figura muestra la detección de triángulos, que son marcados con un rectángulo rojo para su mejor identificación. Creación propia, 2021.

2.5.1.10 Mostrar mensaje

Si se logró detectar triángulos (*Agaves*) se va a mostrar la imagen final con una leyenda que dice “Se han detectado *Agaves*” remarcando los que se encontraron dentro de un rectángulo, si no se detectó nada se mostrará una leyenda que diga “no se detectaron *Agaves*” si este es el caso entonces se tiene que repetir todo el proceso con una imagen diferente capturada en una que no sea la misma ala anterior.

Figura 31.
Mensaje.



Nota: La figura muestra un mensaje el cual hace saber al usuario si se encontraron o no Agaves, esto basándose en el número de recuadros rojos que se lograron detectar. Creación propia, 2021.

CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos al procesar las imágenes que fueron tomadas con el dron, provienen de una serie de pruebas que se realizaron con imágenes de diferentes rangos de umbral y de erosión además de la variación de la altura. En este apartado se muestra la estructura con la que serán representados los resultados la cual consiste de la siguiente manera: en la parte superior se muestra la ubicación de la localidad recorrida, del lado inferior izquierdo se muestra la imagen original con una pequeña descripción, del lado derecho estará la imagen binarizada y libre de ruido para que en la parte inferior de estas dos se encuentre ubicado el resultado que se obtuvo, fueron seleccionadas de acuerdo al municipio en donde fueron tomadas las fotografías y se muestra un apartado con datos estadísticos.

3.1.1 Ubicación de las localidades recorridas representadas en Google Earth

La siguiente figura 33 muestra las localidades pertenecientes al municipio de Chilchotla Puebla, las cuales fueron visitadas para hacer las pruebas de campo.

Figura 32.
Localidades de Chilchotla Puebla.



Nota: Se muestra en rojo la delimitación territorial de Chilchotla Puebla, mientras que las líneas de diferente color muestran las localidades recorridas. Creación propia, 2021.

La imagen se trabajó con dos softwares diferentes, uno de ellos es QGIS 3.14.16, este permitió hacer la ubicación de las localidades incluyendo el municipio, cabe mencionar que estos datos fueron sacados directamente de la página oficial del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Cuando se hizo la identificación de las localidades fueron guardadas con una extensión. KML, permitiendo la posibilidad de abrirlas con Google Earth, dentro de esta aplicación se pueden hacer modificaciones estéticas tales como el contorno de la localidad o poner ciertos marcadores para que se tenga una mejor identificación, el resultado final se muestra en la figura 33.

3.2 Acocomotla

El primer recorrido que se llevó a cabo fue en la localidad de Acocomotla y está mostrada en la figura 34 resaltando el lugar con un contorno verde y una etiqueta que indica el nombre y resaltando que es una zona productora de *Agave* pulquero.

Figura 33.
Ubicación de Acocomotla.



Nota: Se muestra la delimitación territorial de la localidad de Acocomotla. Creación propia, 2021.

3.2.1 Procesamiento de imágenes de Acocomotla

Durante el recorrido en la localidad se tomó una serie de fotografías a diferentes alturas y ángulos, con esto se obtuvo material suficiente con respecto a los Agaves encontrados en ese lugar, las alturas que se tomaron como referencia fueron 10, 20 y 30 metros.

La forma de detección de los Agaves fue a través de las herramientas que incluye Matlab, en este apartado se muestra parte del proceso de detección y el resultado final que se obtiene indicando una ventana emergente que menciona un número aproximado de los Agaves que hay en el área donde fue tomada la fotografía.

Cabe mencionar que para una mejor detección se debe de considerar la condición climatológica con la que cuenta el lugar, cuando se hizo el recorrido el clima estaba nublado provocando que se oculten partes de la morfología del Agave, así como la alteración de los colores en el ambiente.

3.2.2 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 10 m de altura en Acocomotla

Figura 34.
Imagen original 10 m Acocomotla.



Figura 35.
Imagen Binarizada 10 m Acocomotla.

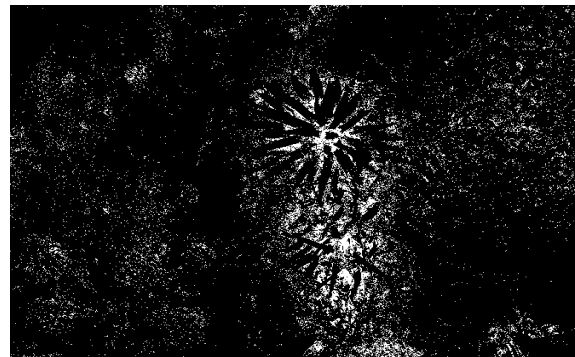
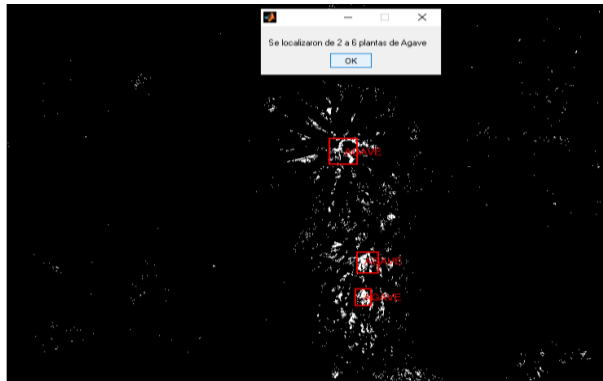


Figura 36.
Resultado final 10 m Acocomotla.



Nota: Las figuras 35, 36 y 37 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de Acocomotla, a una altura de 10 m. creación propia, 2021.

3.2.3 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 20 m de altura en Acocomotla

Figura 38.
Fotografía original 20 m Acocomotla.



Figura 38.
Imagen binarizada 20 m Acocomotla.

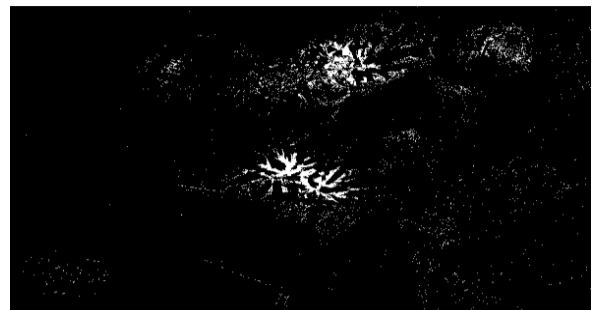


Figura 39.
Resultado final 20 m Acocomotla.



Nota: Las figuras 38, 39 y 40 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de Acocomotla, a una altura de 20 m. creación propia, 2021.

3.2.4 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 30 m de altura en Acocomotla

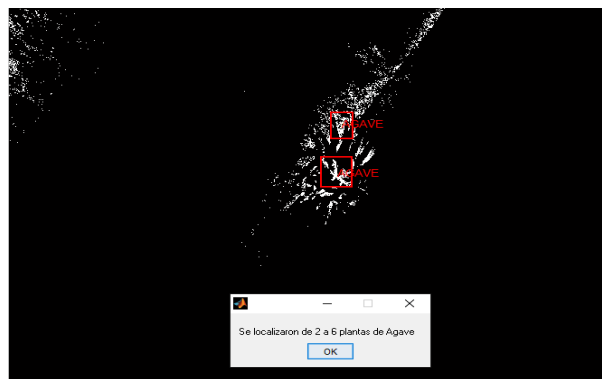
Figura 41.
Imagen original 30 m Acocomotla.



Figura 41.
Imagen binarizada 30 m Acocomotla.



Figura 42.
Resultado final 30 m Acocomotla.



Nota: Las figuras 41, 42 y 43 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de Acocomotla, a una altura de 30 m. creación propia, 2021.

3.3 La Trinidad

La figura 44 muestra la ubicación geográfica de la localidad La Trinidad y a su vez indica con un marcador verde la ubicación de los algunos Agaves que existen en dicha zona, la forma de ubicarlos fue con un GPS que permitió marcar cada uno de ellos para después pasar esas coordenadas al software OziExplorer y así hacer una exportación de la información a un formato KML para que pudiese ser visualizado en Google Earth.

Figura 43.

Ubicación de La Trinidad.



Nota: Se muestra la delimitación territorial de la localidad de La Trinidad. Creación propia, 2021.

3.3.1 Procesamiento de imágenes de La Trinidad

El segundo recorrido realizado fue en la localidad La Trinidad, en esta zona los Agaves se encontraban distribuidos de una forma que se tenían que recorrer grandes distancias para llegar a ellos, las condiciones del clima favorecieron a la captura de las fotografías debido a que los colores y las formas se distinguían fácilmente, sin embargo en donde estaban ubicados en zona de agricultores y la tierra labrada y el pasto de los alrededores provocó un gran problema a la hora de hacer la detección, ya que los colores que se tenían en el suelo combinado con la

exposición del sol provocan demasiado ruido en la imagen, y para solucionar esto se tuvo que aumentar el rango de la erosión y por ende el de binarización, sin embargo solo se logró hacerlo con la imagen de 10 m ya que este problema ocasionó que las fotografías de 20 y 30 metros de altura tuvieran un dato erróneo debido a que detectaba agaves en la tierra labrada cuando no se encontraban ahí, por otro lado el tamaño del Agave es un factor importante ya que al ser demasiado chico (menos de 50 cm aproximadamente) es imposible su detección.

3.3.2 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 10 m de altura en La Trinidad

Figura 45.
Imagen original 10 m La Trinidad.



Figura 45.
Imagen binarizada 10 m La Trinidad.

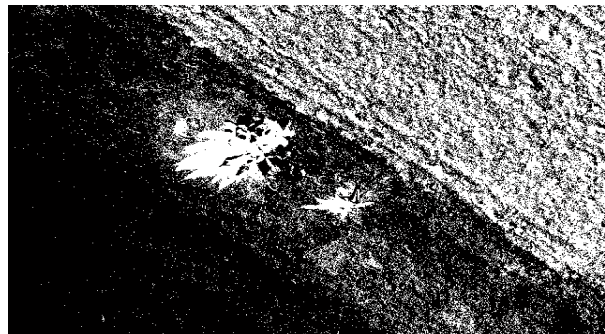


Figura 46.
Resultado final 10 m La Trinidad.



Nota: Las figuras 45, 46 y 47 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de La Trinidad, a una altura de 10 m. creación propia.

3.3.3 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 20 m de altura en La Trinidad

Figura 48.
Imagen original 20 m La Trinidad.



Figura 48.
Imagen binarizada 20 m La Trinidad.

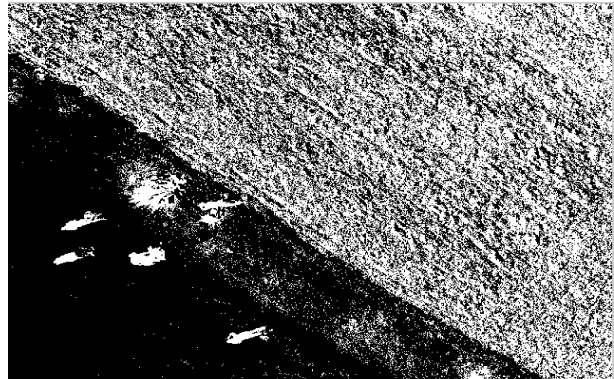
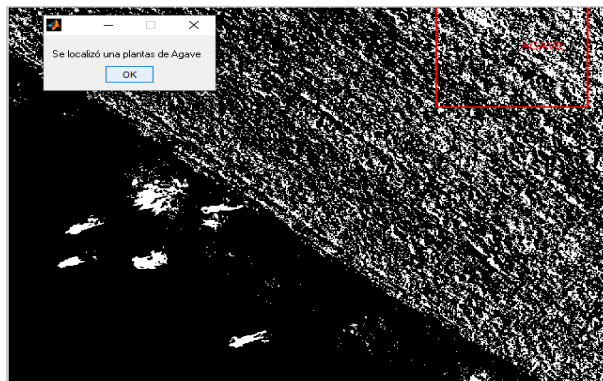


Figura 49.
Resultado final 20 m La Trinidad.



Nota: Las figuras 48, 49 y 50 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de La Trinidad, a una altura de 20 m. creación propia, 2021.

3.3.4 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 30 m de altura en La Trinidad

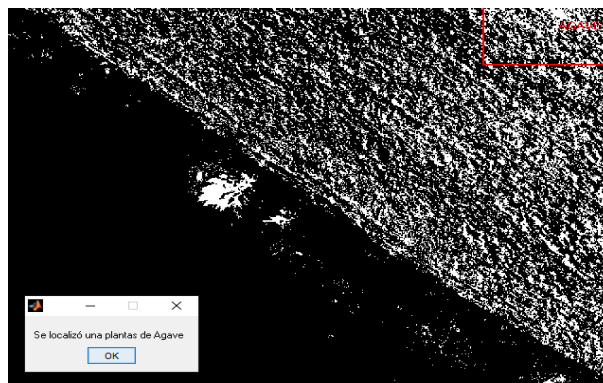
Figura 50.
Imagen original 30 m La Trinidad.



Figura 51.
Imagen binarizada 30 m La Trinidad.



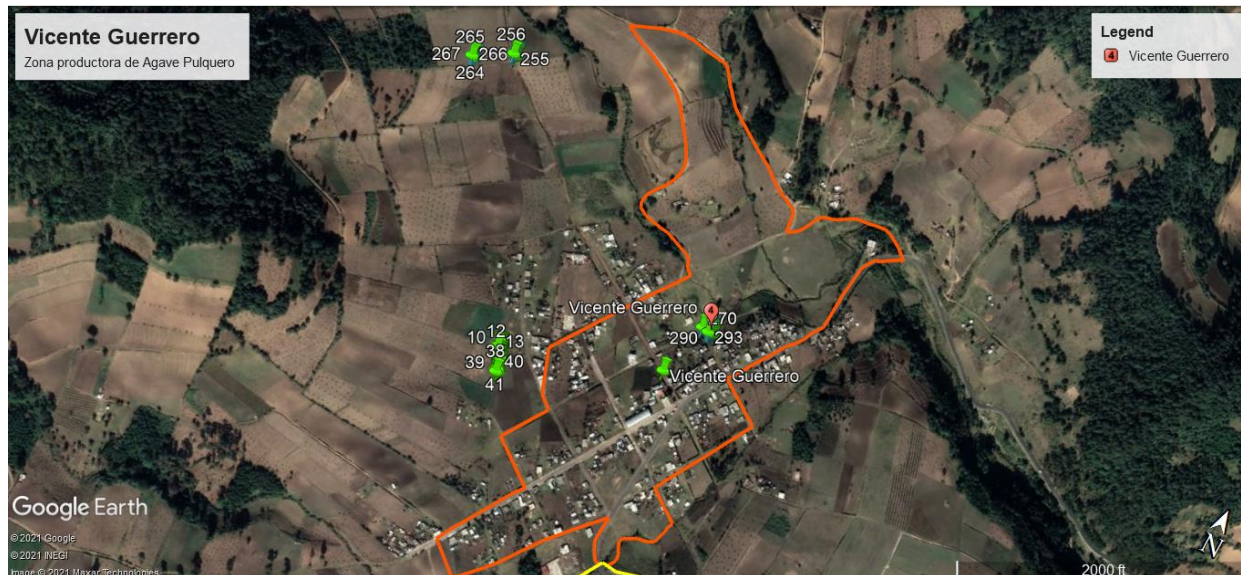
Figura 52.
Resultado final 30m La Trinidad.



Nota: Las figuras 51, 52 y 53 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de La Trinidad, a una altura de 30 m. creación propia, 2021.

3.4 Vicente Guerrero

Figura 53
Ubicación de Vicente Guerrero y los Agaves localizados.



Nota: La figura de arriba muestra la delimitación territorial de la localidad de Vicente Guerrero. Creación propia, 2021.

La figura 54 muestra la ubicación de la comunidad de nombre Vicente Guerrero, se muestra las delimitaciones de la localidad remarcándolas con un contorno naranja e indicando los resultados de los agaves localizados y marcados con GPS. Cabe mencionar que dentro de algunas comunidades existen las zonas ejidatarias las cuales no están marcadas dentro del territorio de la localidad, es por ello que en la figura muestra marcadores que representan a Agaves los cuales se encuentran muy retirados de la localidad sin embargo siguen perteneciendo a la misma.

3.4.1 Procesamiento de imágenes de Vicente Guerrero

El tercer recorrido fue en la localidad de Vicente Guerrero obteniendo diferentes tomas aéreas, esta localidad es muy similar con la de La Trinidad debido a que el tipo de suelo y clima son muy parecidos, sin embargo algunos Agaves que se fueron encontrando estaban rodeados de pasto solo que se descubrió que es más fácil eliminar el ruido provocado por dicha vegetación a

diferencia de la tierra labrada, pero esto no descartaba la posibilidad de encontrarlos dentro de las tierras de cultivo ya que esta localidad es de agricultores.

3.4.2 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 10 m de altura en Vicente Guerrero

Figura 55.
Imagen original 10 m Vicente Guerrero.

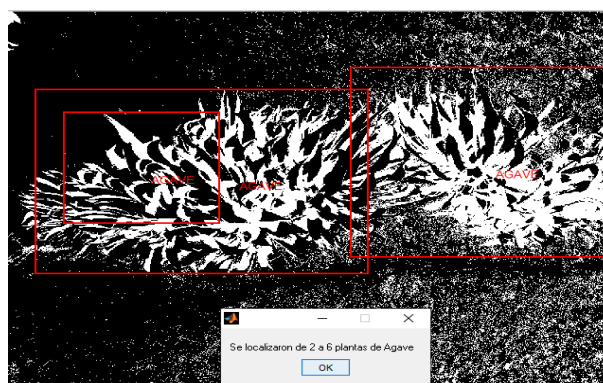


Figura 55.
Imagen binarizada 10 m Vicente Guerrero.



Figura 56

Resultado final 10 m Vicente Guerrero.



Nota: Las figuras 55, 56 y 57 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de Vicente Guerrero, a una altura de 10 m. creación propia, 2021.

3.4.3 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 20 m de altura en Vicente Guerrero

Figura 58.
Imagen original 20 m Vicente Guerrero.



Figura 58.
Imagen binarizada 20 m Vicente Guerrero.

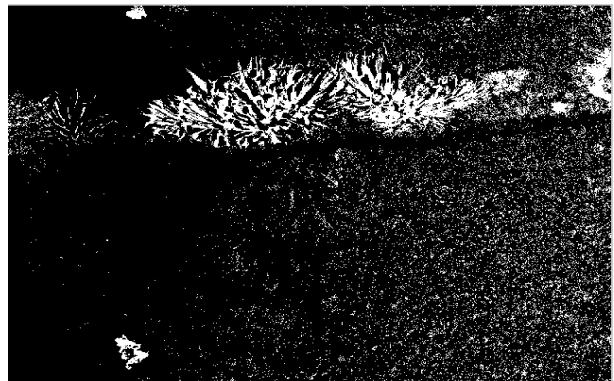


Figura 59.
Resultado final 20m Vicente Guerrero.



Nota: Las figuras 58, 59 y 60 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de Vicente Guerrero, a una altura de 20 m. creación propia.

3.4.4 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 30 m de altura en Vicente Guerrero

Figura 61.
Imagen original 30 m Vicente Guerrero.



Figura 61.
Imagen binarizada 30 m Vicente Guerrero.

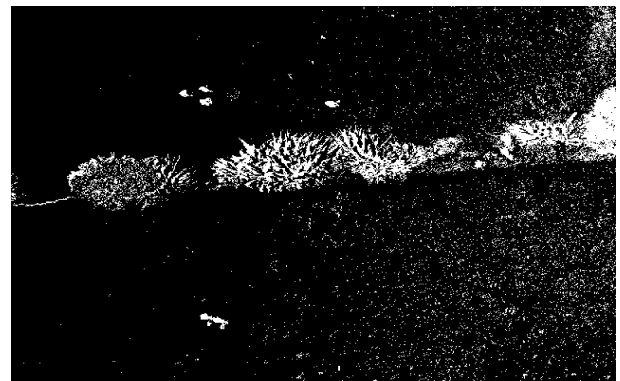


Figura 62.
Resultado final 30 m Vicente Guerrero.



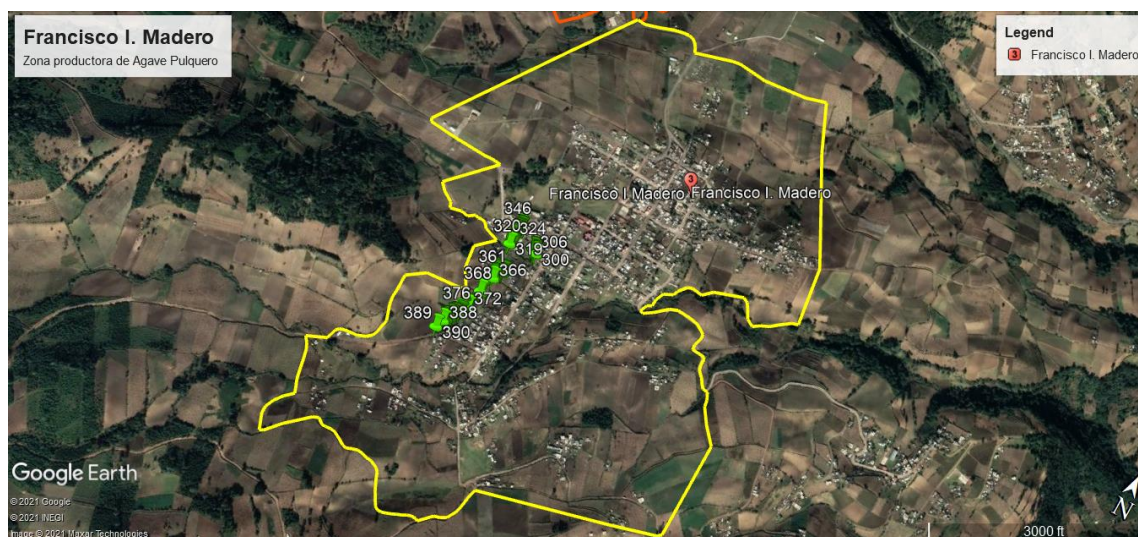
Nota: Las figuras 61, 62 y 63 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de Vicente Guerrero, a una altura de 30 m. creación propia, 2021.

3.5 Francisco I. Madero

La localidad de Francisco I. Madero está representada en Google Earth con una línea amarilla delimitando toda la extensión territorial de la zona, como se muestra en la figura 64 los Agaves son localizados principalmente en las orillas de las localidades, por este motivo su detección se muestra interrumpida ya que en los alrededores están las zonas de cultivo y como se mencionó anteriormente esto provoca una gran cantidad de ruido dentro de la imagen.

Figura 63.

Ubicación de Francisco I. Madero y los Agaves localizados.



3.5.1 Procesamiento de imágenes de Francisco I. Madero

El recorrido fue realizado en la localidad de Francisco I. Madero, la zona en cuestión es de agricultores y los terrenos en donde se localizan los Agaves son en las tierras de siembra, las cuales se encuentran en desnivel, esto ocasiona que el acceso para marcar los Agaves sea más complicado, de igual forma se encontraron algunos que formaban barreras vivas, sin embargo las copas de los árboles obstruían la visión de la cámara del dron, por este motivo se optó por tomar fotografías en un ángulo diferente.

Para tomar las fotografías fue necesario elevar el dron a las alturas mencionadas anteriormente, y la posición de la cámara se puso a 0° de tal forma que la fotografía pudiera captar los Agaves de frente, evitando así la obstrucción de la vista por parte de las copas de los árboles, pero siempre y cuando respetando las alturas correspondientes. En esta nueva forma de capturar las imágenes fue muy favorable, debido a que se tenía una mejor visión de los objetos que se encontraban dentro del rango de la fotografía y su detección en Matlab mostraba datos acertados.

3.5.2 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 10 m de altura en Francisco I.

Madero

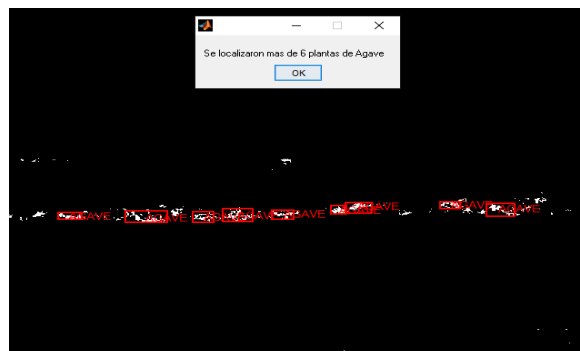
Figura 65.
Imagen original 10 m Francisco I. Madero.



Figura 65.
Imagen binarizada 10 m Francisco I. Madero.



Figura 66.
Resultado final 10 m Francisco I. Madero.



Nota: Las figuras 65, 66 y 67 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de Francisco I. Madero, a una altura de 10 m. Creación propia, 2021.

3.5.3 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 20 m de altura en Francisco I.

Madero

Figura 68.
Imagen original 20 m Francisco I. Madero.

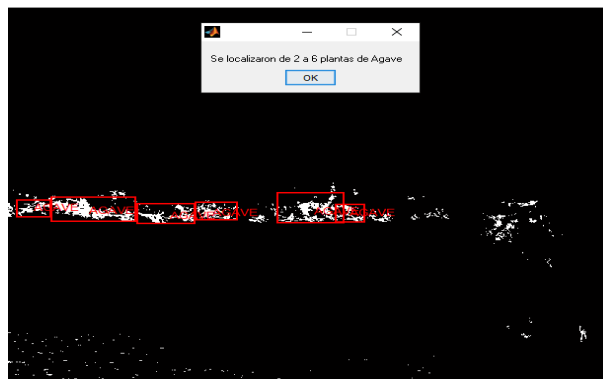


Figura 68.
Imagen binarizada 20 m Francisco I. Madero.



Figura 69.

Resultado final 20 m Francisco I. Madero.



Nota: Las figuras 68, 69 y 70 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de Francisco I. Madero, a una altura de 20 m. creación propia, 2021.

3.5.4 Resultado del procesamiento de imágenes capturadas a 30 m de altura en Francisco I.

Madero

Figura 70.
Imagen original 30 m Francisco I. Madero.



Figura 71.
Imagen binarizada 30 m Francisco I. Madero.



Figura 72.
Resultado final 30 m Francisco I. Madero.



Nota: Las figuras 71, 72 y 73 muestran el procesamiento de las imágenes tomadas en la localidad de Francisco I. Madero, a una altura de 30 m. Creación propia, 2021.

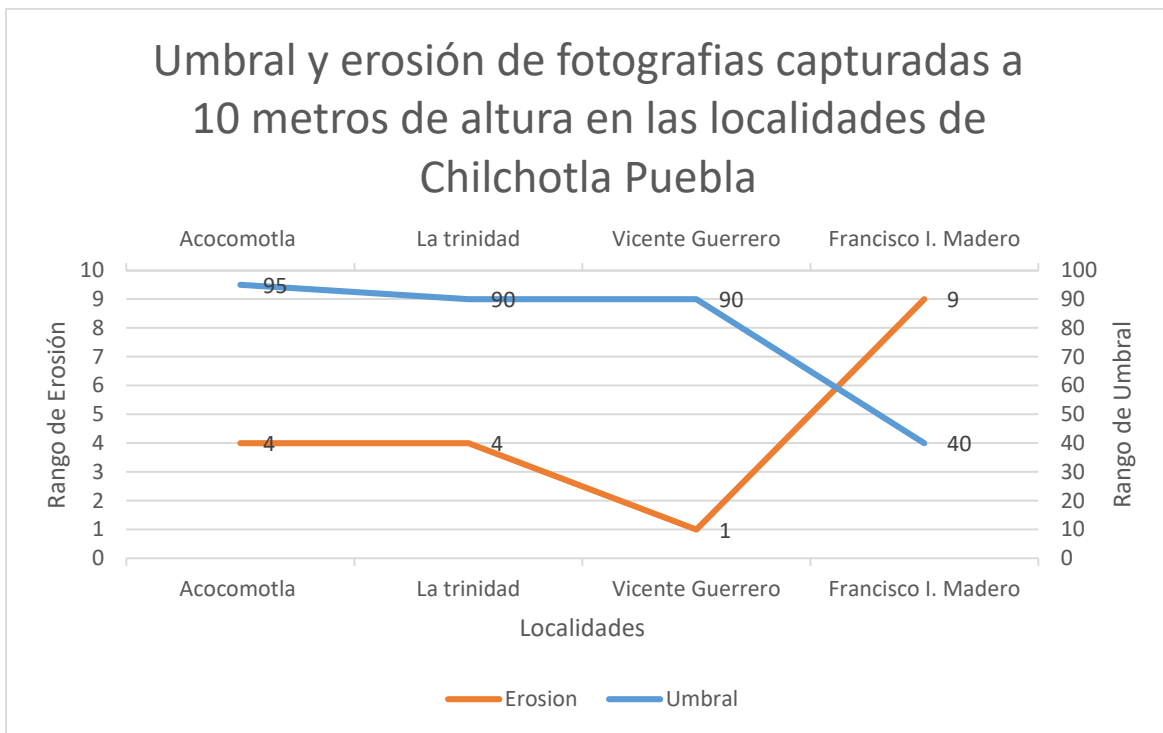
3.6 Análisis estadístico

Con base a las pruebas realizadas y a los resultados obtenidos de las mismas, se tomaron en consideración datos esenciales que tienen variaciones para cada comunidad y cada relieve, obteniendo así gráficas que permiten englobar la información más importante y llegar a una conclusión para corroborar si el proyecto de investigación es viable o no.

3.6.1 Rango de erosión y umbralización para imágenes a 10 m de altura

Gráfico 1

Rango de erosión y umbralización para imágenes a 10m de altura.



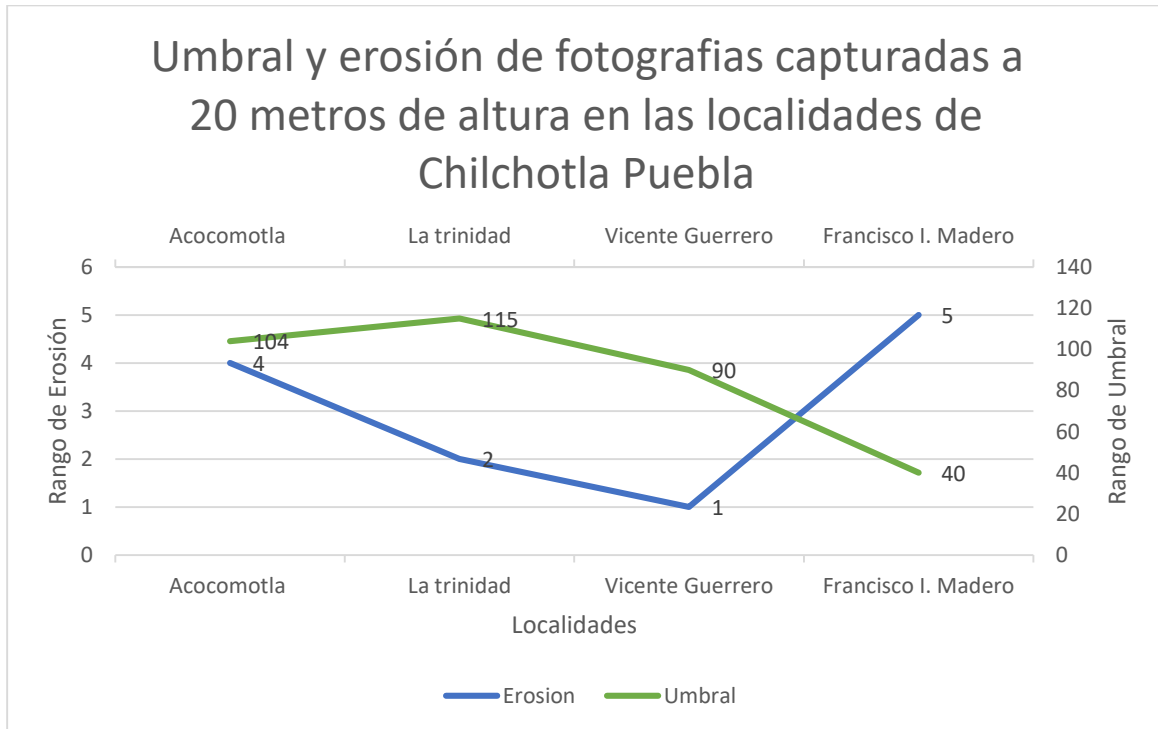
Nota: La gráfica de arriba muestra el umbral promedio que se utilizó para las imágenes capturadas a 10 m de altura en las localidades correspondientes, al igual se muestra la erosión promedio utilizada para los mismos casos.
Creación propia, 2021.

El terreno donde se encuentran las Localidades tienen una tendencia a ser habitadas por personas dedicadas a la agricultura y la ganadería, para poder tener una buena cosecha es necesario preparar la tierra antes de sembrar, a esta acción se le conoce como labrar la tierra, anteriormente se mencionó que era un problema para la detección de los Agaves si estos se encontraban cerca o rodeados en estos campos de siembra ya que el ruido de la imagen incrementaba, por este motivo los rangos que se estuvieron manejando para binarizar y eliminar el ruido tenían que ser modificados.

En la grafica 1 se muestran los rangos de erosión y umbral que se usaron para las imágenes capturadas a 10 metros de altura en cada una de las localidades, con esto se obtuvo que la variación del umbral entre las tres primeras localidades solo fue de 5 pixeles, mientras que en la última localidad los pixeles se redujeron en gran cantidad. Por el lado de la erosión las dos primeras localidades se mantuvieron constantes aunque su umbral tuvo una varianza de 5 px sin embargo en la localidad de Vicente Guerrero se tuvo un declive considerable del rango de erosión, sin embargo ese es un buen resultado ya que esto dio a entender que las imágenes en esta altura no tienen demasiado ruido como para interferir en la detección del Agave. Al tener una erosión de 9 px indica que la imagen tiene demasiado ruido y esto es de suponerse ya que estas imágenes fueron capturadas en Francisco I. Madero, una zona donde los Agaves estaban ubicados dentro de las tierras de siembra.

3.6.2 Rango de erosión y umbralización para imágenes a 20 m de altura

Gráfico 2 Rango de erosión y umbralización para imágenes a 20 m de altura.



Nota: La grafica de arriba muestra el umbral promedio que se utilizó para las imágenes capturadas a 20 m de altura en las localidades correspondientes, al igual se muestra la erosión promedio utilizada para los mismos casos.
Creación propia, 2021.

La variación de altura influye de una manera significativa para la detección del agave debido a que entre mas altura se puede tener una vista mas amplia del terreno, en algunas pruebas realizadas con diferentes imágenes los resultados eran favorables debido a que se podían localizar más agaves que se encontraban distribuidos en la zona, pero también se captaba más terreno que provocaba ruido, sin embargo los resultados que se obtuvieron con esta altura fueron eficientes ya que el rango de erosión disminuyo para las localidades con excepción de

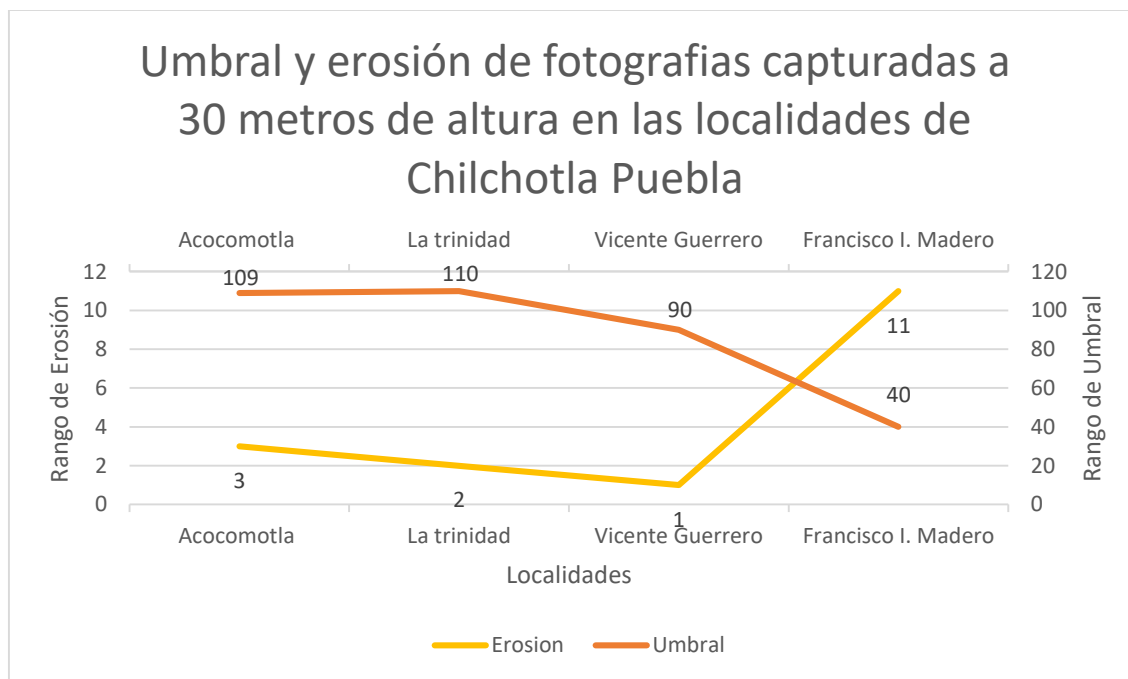
acocomotla ya que siguió conservando el mismo rango, lo que sí tuvo una variación considerable fue el umbral puesto que en el de 10 m no sobrepasaba los 95px y estos productos se obtuvo un máximo de 115px. La localidad de Francisco I. Madero siguió conservando su rango de umbral con excepción de la erosión ya que en estas pruebas disminuyó 4px.

En estas pruebas se obtuvieron resultados favorables ya que el ruido de las imágenes no afectó en la detección de los agaves.

3.6.3 Rango de erosión y umbralización para imágenes a 30 m de altura

Gráfico 3

Rango de erosión y umbralización para imágenes a 30 m de altura.



Nota: La grafica de arriba muestra el umbral promedio que se utilizo para las imágenes capturadas a 20 m de altura en las localidades correspondientes, al igual se muestra la erosion promedio utilizada para los mismos casos.
Creación propia, 2021.

La variación de tamaño de los objetos cambia drásticamente si son captados desde gran altura, en algunas ocasiones es favorable si las dimensiones de lo que se quiere captar son grandes pero en este caso la variación de tamaños de los agaves resulta complejo, debido a que la edad de cada uno va a influir en su detección a gran altura ya que dependiendo de su edad será su tamaño, cuando son adultos toman un tamaño que va a cambiar de acuerdo a su especie sin embargo son de grandes dimensiones y los jóvenes son más chicos, dentro de estas dos edades su detección a 30 metros de altura es adecuada, ya que para los hijuelos su detección sería imposible puesto que su reducido tamaño evita que sean captados.

Los rangos para la altura de 30 metros es muy similar a la de 20 m, el máximo umbral que se muestra es de 110px, para la localidad de Acocomotla se tuvo un pequeño incremento en sus dos rangos mientras que en Francisco I. Madero la erosión tuvo un incremento muy drástico pasando de 5px que se tenían a 20 m, a 11 px en 30 m. Esto indica que al tener una visión más amplia de la zona también se detectó una amplia parte de la tierra labrada ocasionando el ruido y por ende la erosión.

3.6.4 Promedio de los rangos de Erosion y Umbralización de acuerdo a la localidad y la altura.

Tabla 8

Promedio de los rangos de Erosión y Umbralización de acuerdo a la localidad y la altura.

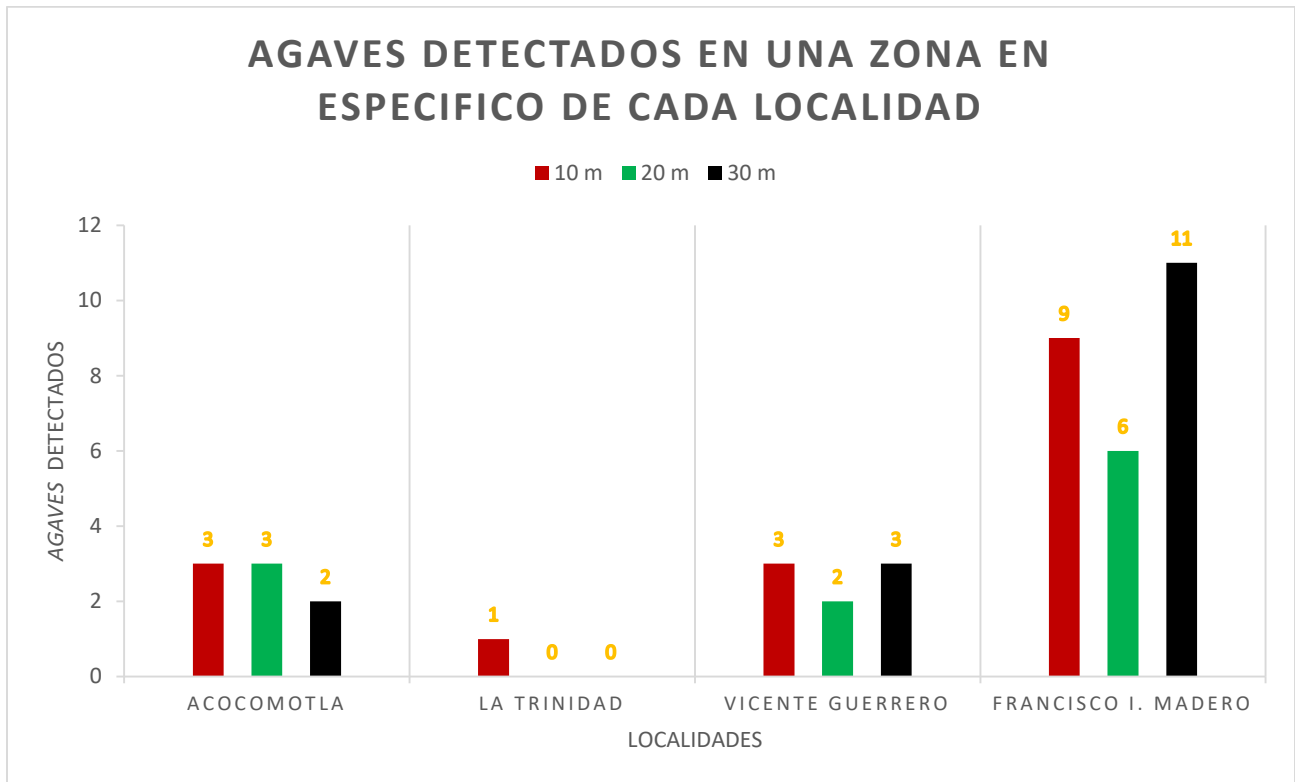
Altura	Umbral	Erosión
10m	78.75	4.5
20m	87.25	3
30m	87.25	4.25

Nota: La tabla representa el promedio del umbral de las imágenes capturadas en las localidades a sus tres alturas (10 m, 20 m y 30 m), de igual forma se presenta el promedio de la erosión de las mismas. Creación propia, 2021.

3.6.5 Agaves detectados en una zona en específico de cada localidad

Gráfico 4

Agaves detectados en una zona en específico de cada localidad.



Nota: La gráfica muestra un promedio de agaves localizados en una sola imagen en las diferentes localidades recorridas, así como a la altura en la que fue capturada dicha imagen. Creación propia, 2021.

3.7 Discusión

Con base a las investigaciones más recientes se han encontrado diversos proyectos enfocados al área de la agricultura, utilizando herramientas basadas en el procesamiento de imágenes y visión por computadora, sin embargo, las estrategias que utilizan principalmente son enfocadas a la detección de malezas y plagas (Kim et. al, 2022).

Bernotas et, al (2019) propone un proyecto encargado de la detección del crecimiento de cultivo, sin embargo, toma como referencia a la *Arabidopsis rosettes* como un prototipo, en donde implementa un invernadero a escala monitoreado por un sistema de leds de diferentes colores y una cámara, cada uno apuntando a un ángulo determinado, al procesar las imágenes hace un modelado 3D del prototipo y con las luces brindadas con los leds se toman como punto de referencia para tener diferencias entre cada una de ellas.

A diferencia de este proyecto en la tesis se trabajó con imágenes 2D basadas en las figuras geométricas que se encuentran en el Agave, mientras el otro obtiene resultados con imágenes 3D basándose en los colores que brindan los leds.

De igual forma Gu et, al (2020) presenta el proyecto denominado “Control de seguimiento de ruta del robot de recopilación de información de campo basado en un algoritmo de red neuronal convolucional mejorado” en este proyecto está enfocado al cultivo de maíz en China, creando un robot que permita la sustitución de maquinaria pesada que pueda pasar entre las hileras del maíz, para ello se tiene que detectar los rizomas para poder trazar las rutas.

Al ser una red neuronal emplearon la captura fotográfica de diferentes escenarios para que con base a eso, el robot pueda aprender y trazar sus rutas para trabajar de manera autónoma. El proyecto que se llevó a cabo es similar con relación a la detección de objetos, basado en la localización de triángulos encontrados, al procesar la imagen tomada con el dron mientras la otra

está enfocado al crecimiento de los rizomas tomando en cuenta una figura geométrica rectangular para trazar la ruta del robot.

Kim et, al (2022) presenta el proyecto “Detección automatizada de la enfermedad de Rice Bakanae a través de imágenes de drones”, con el dron se tomaron imágenes para hacer un muestreo de cultivo de arroz y comenzar a trabajar con ellas como prototipo, haciendo un procesamiento a través de las diferentes tonalidades que puede obtener una planta contagiada.

La tesis empleo la misma estrategia de utilizar un dron para una mejor visualización de la zona, tomando fotografías a 10, 20 y 30 metros de altura, con un ángulo de -90° , sin embargo, se basó en las figuras geométricas que se encontraron dentro de la imagen tomada, aplicando procesamiento de imágenes, visión learning, binarización y erosión con Matlab, mientras que el presentado para la detección de malezas utiliza la detección de colores para detectar plantas infectadas, haciendo recorridos y tomando imágenes a una altura de 3 metros y un ángulo de 0° y haciendo el procesamiento de imágenes con YOLOv3. Sin embargo, este trabaja con video en tiempo real mientras que el nuestro solo es a través de fotografías.

Conclusiones

Con respecto a las pruebas y los resultados obtenidos se hace notar que es necesario tener un procedimiento para identificar agave y evitar recorrer grandes distancias con la incertidumbre de no encontrar lo necesario, se debe de tener en cuenta que el relieve y la vegetación que se encuentra en la zona y en los alrededores influye de una forma considerable en los resultados. Al hacer los recorridos en las localidades que se visitaron para hacer la investigación se tuvo que empezar a hacer una serie de tomas para encontrar los ángulos y las alturas adecuadas para que los objetos fuesen visibles, con esto mencionado se llegaron a las siguientes conclusiones:

- La altura con la que se toman las fotografías va a afectar a los agaves de menor tamaño ya que a más altura menor visibilidad (límite de resolución).
- Es muy complejo hacer la detección de agaves que se encuentran en estado silvestre debido a que su ubicación crece de forma descontrolada, esto puede ocasionar que se reproduzcan cerca de árboles o maleza, ocasionando que se confundan o definitivamente que no sean visibles, por esta razón es que se tiene que buscar un ángulo apropiado, sin embargo, ya no se estaría detectando todo lo que se encuentre a su alrededor.
- El clima puede afectar a la detección ya que hace que los colores resalten o se opaquen, esto provoca que al momento de la umbralización los objetos no sean visibles.
- La mejor altura para hacer la detección según las gráficas mostradas anteriormente va a cambiar de acuerdo a la altura y el tamaño de los agaves.
- El tiempo de ejecución del programa es rápido para ser imágenes con alta resolución.

Cabe mencionar que si el terreno está despejado se pueden hacer las capturas a 30 metro de altura ya que se va a tener una mejor vista y sin obstáculos que interfieran, se llegó a esta conclusión debido a fotografías tomadas a agaves silvestres.

Este proyecto puede ser mejorado utilizando la detección en tiempo real utilizando video de alta resolución, basándose en el procedimiento que se mostró anteriormente, las cuales pueden ser analizadas en el sitio.

Dicho esto, se puede decir que el procedimiento a pesar de algunas desventajas mencionadas anteriormente funciona correctamente y que el objetivo del proyecto se cumplió.

Referencias

- Aldana, Y. A. (2020). Drones y procesamiento de imágenes, una alternativa a la erradicación de malezas. 2021, diciembre 8, de Indagare. Sitio web:
<https://revistas.unibague.edu.co/indagare/article/view/289/250>
- Alexis, G., & Carli, G. (2014). Análisis de imágenes digitales: Origen y disminución del ruido. 2022, enero 5, de Universidad Nacional del Sur. Sitio web:
<http://lcr.uns.edu.ar/fvc/NotasDeAplicacion/FVC-GastonAlexisGarcia.pdf>
- Arias, E. (2021). Agave silvestre o cultivado: el sabor de la tierra. 2021, diciembre 5, de Quixe. Sitio web: <https://revistaquixe.com/2021/03/16/agave-silvestre-o-cultivado-un-vistazo-al-desarrollo-sustentable-del-mezcal/>
- Barreto, S. (2009). *TRANSFORMACIONES GEOMÉTRICAS SOBRE IMÁGENES DIGITALES*.
<http://www.alammi.info/2congreso/memorias/Documentos/martes/TRANSFORMGEOMETRICAS.pdf>
- Barreto, S. (2013). *TRANSFORMACIONES GEOMÉTRICAS SOBRE IMÁGENES DIGITALES*. 2021, diciembre 20, de Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Sitio web: <https://docplayer.es/11449377-Transformaciones-geometricas-sobre-imagenes-digitales.html>
- Bernotas, G., Scorza, L. C. T., Hansen, M. F., Hales, I. J., Halliday, K. J., Smith, L. N., Smith, M. L., & McCormick, A. J. (2019). A photometric stereo-based 3D imaging system using computer vision and deep learning for tracking plant growth. *GigaScience*, 8(5), giz056.
<https://doi.org/10.1093/gigascience/giz056>

Carballido, J. (2018). Conoce la biología y los tipos de agave con Pepe Carballido en el curso de mezcal en dash workshops [YouTube Video]. In *YouTube*.

<https://www.youtube.com/watch?v=-GhCdZjE3Qo>

Castillo, J.. (2017). Como crear una función para separar por filas o columnas mediante un separador: Función Split por columna y fila. 2021, diciembre 22, de sqlisto. Sitio web:

<https://sql-listo.com/t-sql/funcion-split-por-columna-y-fila/>

Cuevas, D., Zaldívar, D. & Pérez, M. (2012). Procesamiento digital de imágenes con MatLAB y SIMULINK. 2021, diciembre 5, de Alfaomega. Sitio web:

<https://core.ac.uk/download/pdf/229159317.pdf>

Fernández, K. & Valdez, G. (2022). Transformaciones de imágenes. 2021, diciembre 23, de Google Docs. Sitio web:

[ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxjZ2xhYnRyYW5zZm9ybWFjaW9uaW1hZ2VuZXN8Z3g6M2E1MzM1ZTYzMzg5YzgzZQ](https://drive.google.com/file/d/1ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxjZ2xhYnRyYW5zZm9ybWFjaW9uaW1hZ2VuZXN8Z3g6M2E1MzM1ZTYzMzg5YzgzZQ/view)

Gu, Y., Li, Z., Zhang, Z., Li, J., & Chen, L. (2020). Path Tracking Control of Field Information-Collecting Robot Based on Improved Convolutional Neural Network Algorithm. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(3), 797. <https://doi.org/10.3390/s20030797>

Hernández, D & GULFO, J. (2018). PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

MULTIESPECTRALES ADQUIRIDAS CON DRONES PARA LA

CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS AGROAMBIENTALES. 2021, octubre 30, de

Universidad Pontificia Bolivariana. Sitio web:

<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/9032/PROCESAMIENTO%20DE%20IM%20C3%81GENES%20MULTIESPECTRALES%20ADQUIRIDAS%20CO>

N%20DRONES%20PARA%20LA%20CARACTERIZACI%C3%93N%20DE%20SISTEMAS%20AGROAMBIENTALES.pdf?sequence=3

Kim, D., Jeong, S., Kim, B., Kim, S. J., Kim, H., Jeong, S., Yun, G. Y., Kim, K. Y., & Park, K. (2022). Automated Detection of Rice Bakanae Disease via Drone Imagery. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(1), 32.

<https://doi.org/10.3390/s23010032>

Mancera, A.. (2021). DETECCIÓN DE CERCOSPORA EN AGAVE A TRAVÉS DEL ANALISIS DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES. 2021, diciembre 10, de Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. Sitio web:
<https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/7465/DETECCI%C3%93N%20DE%20CERCOSPORA%20EN%20AGAVE%20A%20TRAV%C3%89S%20DEL%20ANALISIS%20DE%20IM%C3%81GENES%20MULTIESPECTRALES.pdf?sequence=3>

Martínez, C., Albornoz, E. Pizarro, J. & Carolo, R. (2020). Sistema de Conteo Forestal, Agrícola y Ganadero mediante procesamiento de imágenes. 2021, diciembre 8, de Instituto de investigación en señales, sistemas e inteligencia computacional. Sitio web:
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/115970/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MathWorks. (2016). Imagen binarize usando umbral global. 2021, diciembre 28, de MathWorks. Sitio web: <https://la.mathworks.com/help/images/ref/imbinarize.html>

Mathworks. (2016). Umbral de cálculo a partir del histograma de imagen y la imagen binarizada.. 2022, enero 5, de Mathworks. Sitio web: Mathworks.com.
<https://la.mathworks.com/help/images/ref/otsuthresh.html>

MathWorks. (2021). *Calcular centroides y ubicaciones superpuestas en la imagen*. Mathworks.

2022, enero 8. Sitio web:

<https://es.mathworks.com/help/images/ref/regionprops.html#:~:text=El%20valor%20de%20circularidad%20se,no%20contiguas%2C%20devuelve%20resultados%20inesperados.>

MathWorks. (2021). *ExampleTopics*. Mathworks. 2022, enero 8. Sitio web:

<https://la.mathworks.com/help/images/geometric-transformations.html>

MathWorks. (2021). *VisibleBreadcrumbs*. 2022, enero 15, Mathworks. Sitio web:

https://la.mathworks.com/help/matlab/creating_plots/reading-writing-and-querying-graphics-image-files.html

MathWorks. (2021). *VisibleBreadcrumbs*. 2022, enero 20, Mathworks. Sitio web:

<https://la.mathworks.com/help/images/morphological-dilation-and-erosion.html>

Mathworks. (2022). *Aplicar estiramiento horizontal a la imagen*. 2021, diciembre 23, de

Mathworks. Sitio web: <https://la.mathworks.com/help/images/ref/imwarp.html>

Mathworks. (2022). *Binarize Image Using Global Threshold*. 2021, diciembre 21, de

Mathworks. Sitio web: <https://la.mathworks.com/help/images/ref/imbinarize.html>

Mathworks. (2022). *Visible Breadcrumbs*. 2021, diciembre 20, de Mathworks. Sitio web:

<https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/matlab.graphics.primitive.image-properties.html>

Roncagliolo, p.. (2018). *Ejemplo práctico de procesamiento de imágenes en color: efecto*

publicitario “rojo sobre grises”. 2021, diciembre 21, de Universidad Técnica Federico Santa María. Sitio web:

http://www2.elo.utfsm.cl/~elo328/PDI14_EjemploPocesamientoColor.pdf

Rudiño, L. . (2015). Cultura y Conocimiento, fórmulas para impulsar el pulque y a las pulquerías tradicionales. 2021, diciembre 28, de La jornada del campo. Sitio web:

<https://www.jornada.com.mx/2015/05/16/cam-cultura.html>

Schneider, G., Solano, A., Kemerer, A. & Hadad, A.. (2015). Gestión y procesamiento de imágenes aéreas de caña de azúcar. 2021, diciembre 8, de Universidad Nacional de Entre Ríos. Sitio web:

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45597/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2016). Maguey: un agave que nos provee diversos productos agroalimentarios nativos. 2022, enero 10, de Gobierno de México.

Sitio web: <https://www.gob.mx/siap/articulos/maguey-un-agave-que-nos-provee-diversos-productos-agroalimentarios-nativos?idiom=es>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018). El quiote y sus flores, las delicias del maguey. 2022, enero 15, de Gobierno de México. Sitio web:

<https://www.gob.mx/siap/articulos/el-quiote-y-sus-flores-las-delicias-del-maguey?idiom=es>

Triana, N., Jaramillo, A. E., Gutiérrez, R. M., & Rodríguez, C. A. . (2016). Técnicas de umbralización para el procesamiento digital de imágenes de GEM-Foils. 2022, enero 4, de Universidad Tecnológica de Pereira. Sitio web:

<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/13271>

Valenzuela Z., D. . (2014). Vectores. Física de Nivel Básico. . 2021, diciembre 23, de fisic. Sitio web: <https://www.fisic.ch/contenidos/introducci%C3%B3n-a-la-f%C3%ADsica/vectores/>

Zapotecatl, J.. (2022). Capítulo 3: Información. 2021, diciembre 10, de Pensamiento

computacional. Sitio web: <http://www.pensamientocomputacional.org/index.php/cursos/leccion-informacion>