

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“Sistema de Visión Artificial para la Detección de
Trompillo (*Solanum Elaeagnifolium* Cav.) en
Sorgo Escobero.”**

POR

Gerardo Collazo Rodríguez

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Hector Aurelio Moreno Casillas

CODIRECTOR DE TESIS

Dr. Francisco Gerardo Flores García

ISSN: 0188-9060

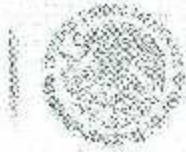


RIITEC: (09)-TMCIE-2017

Torreón, Coahuila, México
Julio 2017

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de La Laguna

Torreón, Coah., **14/Junio/2017**
Dependencia: DEPI/CPCIE
Oficio: DEPIJ/CPCIE/051/2017
Asunto: Autorización de impresión
de tesis.

C. Gerardo Collazo Rodriguez
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA.
PRESENTE

Después de haber sometido a revisión su trabajo de tesis titulado:

**"SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE TROMPILLO (SOLANUM
ELAEAGNIFOLIUM CAV.) EN SORGO ESCOBERO"**

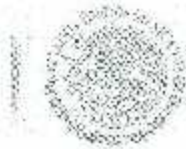
Habiendo cumplido con todas las indicaciones que el jurado revisor de tesis hizo, se le comunica que se le concede la autorización con número de registro **RIITEC: (09)-TMCIE-2017**, para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

DR. ARMANDO LONGORIA DE LA TORRE
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
del Instituto Tecnológico de la Laguna

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO
de la Laguna
División de Estudios de Posgrado
e Investigación





Torreón, Coah., 09/Junio/2017

DR. ARMANDO LONGORIA DE LA TORRE
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Por medio de la presente, hacemos de su conocimiento que después de haber sometido a revisión el trabajo de tesis titulado:

**"SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE TROMPILLO
(SOLANUM ELAEAGNIFOLIUM CAV.) EN SORGO ESCOBERO"**

Desarrollado por el **C. Gerardo Collazo Rodríguez**, con número de contro **M1513058** y habiendo cumplido con todas las correcciones que se le indicaron, estamos de acuerdo que se le conceda la autorización de la fecha de examen de grado para que proceda a la impresión de la misma.

ATENTAMENTE

EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

Dr. Héctor Moreno Casillas
Asesor/Director de Tesis

Dr. Francisco Flores García
Comité Tutorial

Dr. Martín Vázquez Rueda
Comité Tutorial

Dr. Francisco Valdés Perezgasga
Comité Tutorial



Dedicatoria

A mis padres Martha y Gerardo por apoyarme y guiarme a lo largo de mi vida, por estar siempre cuando lo necesito, por todo su cariño.

A mis hermanos por estar conmigo y hacer más feliz el día a día.

Agradecimientos

A CONACYT y al ITL por el apoyo y conocimientos brindados a lo largo de posgrado.

A los doctores Héctor Moreno y Francisco Flores por la ayuda para llevar a cabo este proyecto.

A mis compañeros Víctor, Kristian, Jorge y Julio por las buenas experiencias en las aulas.

Resumen

La aplicación de herbicidas post-emergentes en el cultivo del sorgo (*Sorghum spp*) comúnmente se realiza en toda el área del cultivo, esto puede ocasionar daños al sorgo y al ecosistema, e incrementar los costos del producto. En este proyecto se desarrolla un sistema de visión artificial, con el cual se detecta la maleza comúnmente llamada Trompillo (*Solanum eleagnifolium*). La detección se realiza en tiempo real mediante una interfaz gráfica, programada en el ambiente de Python. Para el procesamiento de la imagen se usó la librería OpenCV. La manera en que el sistema de visión artificial distingue entre maleza y cultivo, es encontrando los valores de los tres canales del HSV de las hojas de la maleza, con esto se pueden resaltar solo los pixeles que se encuentren en el rango de los valores predeterminados. Los resultados obtenidos mostraron una efectividad superior al 90% en la detección de este tipo de maleza.

Abstract

The use of post-emergent herbicides in the cultivation of sorghum (*Sorghum spp*) is commonly performed in the whole area, this may cause damage to the crop and to the ecosystem, and an increment on the cost of the product. This work develops a system of artificial vision which detects the weed commonly called "Trompillo" (*Solanum eleagnifolium*). The detection is done in real time through a graphical interface that was programmed in the Python programming environment. For the processing of the image the OpenCV library is used. The way in which the artificial vision system distinguishes between weeds and crop is finding the values of the three channels in the HSV from the leaves of the weeds, with this it can be highlighted only the pixels that are in the range of the predetermined values. The obtained results showed an effectiveness over 90% in detection of weeds.

CONTENIDO

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	3
1.2 ANTECEDENTES EN EL TECNOLÓGICO DE LA LAGUNA	4
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3.1 Pérdidas por fitotoxicidad	5
1.3.2 Daños al ambiente por herbicidas	6
1.4 OBJETIVOS	7
1.4.1 Objetivo General	7
1.4.2 Objetivos Específicos	7
1.5 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	8
1.6 JUSTIFICACIÓN	8
1.6.1 Impacto social	8
1.6.2 Impacto tecnológico	8
1.6.3 Impacto económico	9
1.6.4 Impacto ambiental	9
1.6.5 Viabilidad de la investigación	9
1.7 BOSQUEJO DEL MÉTODO	10
1.8 CRONOGRAMA	11
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO.	12
2.1 AGRICULTURA	12
2.1.1 Historia de la agricultura	12
2.1.2 Historia de la agricultura en México	15
2.2 SORGO	17
2.2.1 Características botánicas del sorgo	18

2.2.1.1	Raíz.	18
2.2.1.2	Tallo.	18
2.2.1.3	Hojas.	19
2.2.1.4	Inflorescencia.	19
2.2.2	Etapas de crecimiento del sorgo	20
2.2.3	Proceso para cultivar sorgo	22
2.2.3.1	Selección del terreno	22
2.2.3.2	Preparación del terreno	23
2.2.3.3	Época de siembra	24
2.2.3.4	Método de siembra	24
2.2.3.5	Cantidad de semilla	24
2.2.3.6	Fertilización	24
2.2.3.7	Riegos	24
2.2.3.8	Plagas	25
2.2.3.9	Combate de malezas	25
2.2.4	Malezas en sorgo	25
2.2.5	Daños por malezas	27
2.2.6	Clasificación de malezas	29
2.2.7	Principales malezas en sorgo	30
2.2.8	Trompillo (<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.)	32
2.2.9	Control de malezas en sorgo	34
2.2.10	Control químico de maleza en sorgo	35
2.2.11	Clasificación de herbicidas	37
2.2.12	Herbicidas para sorgo	38
2.2.13	Niveles de medición de fitotoxicidad	40

2.2.14	Control de trompillo (<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.) en sorgo.	40
2.3	AGRICULTURA DE PRECISIÓN	43
2.3.1	Aspectos generales de agricultura de precisión	44
2.3.2	Ciclo y etapas de la Agricultura de Precisión	45
2.3.3	Ejemplos de Agricultura de Precisión	46
2.3.4	Futuro de la agricultura de precisión en México	47
2.4	PROCESAMIENTO DE IMAGEN	49
2.4.1	Color	49
2.4.2	Espacio RGB	49
2.4.3	Espacio HSI	50
2.4.4	Conversiones	52
2.4.5	Erosión	53
2.4.6	Dilatación	53
Capítulo 3.	METODOLOGÍA.	54
3.1	INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL.	54
3.2	SELECCIÓN Y ADQUISICIÓN DE SOFTWARE Y HARDWARE A UTILIZAR.	54
3.3	VINCULACIÓN CON EL SECTOR AGRÍCOLA.	55
3.4	TOMA DE DATOS, FOTOGRAFÍAS, VIDEOS, ETC., PARA CREACIÓN DE SISTEMA.	56
3.5	OBTENCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE MALEZA.	56
3.6	CREACIÓN DE PROGRAMA PARA LA DETECCIÓN.	63
3.7	CREACIÓN DE INTERFAZ GRÁFICA PARA VIDEO.	72
3.8	CREACIÓN DE COMPLEMENTOS PARA LA APLICACIÓN.	74
Capítulo 4.	RESULTADOS.	77
4.1	OBTENCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE MALEZA.	77

4.2 PRUEBAS EN CAMPO	81
4.3 COMPLEMENTOS DE LA APLICACIÓN	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS	88
ANEXOS	92
CÓDIGO PARA APERTURA DE INTERFAZ	92
DATASHEET CÁMARA	104

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Aplicación de herbicidas con aguilones.	2
Figura 1.2. Plantas de sorgo dañadas por herbicida 2,4-D.	6
Figura 1.3. Bosquejo del método.	10
Figura 2.1. Características del sorgo en diferentes etapas de crecimiento (madurez y tres hojas).	18
Figura 2.2. Diferentes formas de panículas en el sorgo.	19
Figura 2.3. Etapas de crecimiento del sorgo.	20
Figura 2.4. Preparación del terreno.	23
Figura 2.5. Sorgo con altas concentraciones de maleza.	27
Figura 2.6. Rendimiento de cultivo (kg/ha) con respecto a los días que se deja competir con maleza.	29
Figura 2.7. Trompillo.	33
Figura 2.8. Sorgo con y sin control químico de maleza.	36
Figura 2.9. Aplicación de herbicidas en post-emergencia.	38
Figura 2.10. Herbicidas adecuados para diferentes etapas de desarrollo del sorgo.	40
Figura 2.11. Ciclo de la Agricultura de Precisión.	45

Figura 2.12. Cubo RGB.	50
Figura 2.13. a) Espacio HSL, b) Espacio HSV.	51
Figura 2.14. Espacio HSI.	52
Figura 2.15. Imagen original a la izquierda, imagen erosionada a la derecha.	53
Figura 2.16. Imagen original a la izquierda, imagen dilatada a la derecha.	53
Figura 3.5. Vista aérea de la parcela.	56
Figura 3.6. Obtención de frames.	57
Figura 3.7. Imagen recortada del trompillo.	58
Figura 3.8. Imagen recortada de una hoja.	58
Figura 3.9. Sección recortada de la hoja de trompillo.	59
Figura 3.10. Conversión a HSV.	59
Figura 3.11. Histograma HSV de la imagen.	60
Figura 3.12. Código para separación de los diferentes canales y su imagen correspondiente.	60
Figura 3.13. Código y obtención de valores para HSV.	61
Figura 3.14. Valores del canal H.	62
Figura 3.15. Valores del canal S.	62
Figura 3.16. Valores del canal V.	63
Figura 3.17. Maleza en suelo sin cultivo.	64
Figura 3.18. Resultado final Excess Green.	65
Figura 3.19. Imagen binarizada.	65
Figura 3.20. Maleza resaltada con contornos.	66
Figura 3.21. Imagen destinada para la detección.	67
Figura 3.22. Imagen filtrada.	67
Figura 3.23. Conversión RGB a HSV.	68
Figura 3.24. Imagen binarizada.	68
Figura 3.25. Máscara RGB.	69
Figura 3.26. Imagen erosionada.	69
Figura 3.27. Imagen dilatada.	70
Figura 3.28. Planta de trompillo detectada.	70
Figura 3.29. Pantalla original y pantalla dividida.	71

Figura 3.30. Ejemplo de la pantalla con la detección activada.	71
Figura 3.31. Conexión con Arduino.	72
Figura 3.32. Ambiente de trabajo Qt Designer.	73
Figura 3.33. Creación de interfaz.	73
Figura 3.34. Interfaz gráfica para la detección de maleza.	74
Figura 3.35. Aplicación para pronóstico del clima.	75
Figura 3.36. Agenda.	75
Figura 3.37. Ventana principal.	76
Figura 4.1. Valores de H.	78
Figura 4.2. Valores de S.	78
Figura 4.3. Valores de V.	78
Figura 4.4. Valores de H.	80
Figura 4.5. Valores de S.	80
Figura 4.6. Valores de V.	80
Figura 4.7. Detección de plantas de trompillo en sorgo.	82
Figura 4.8. Trompillo entre planta de sorgo.	82
Figura 4.9. Maleza detectada y no detectada.	83
Figura 4.10. Sorgo marcado como maleza.	83
Figura 4.11. Detección con Excess Green.	84
Figura 4.12. Agenda.	84
Figura 4.13. Pronóstico de clima.	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Cronograma de actividades.	11
Tabla 2.1. Principales malezas en sorgo.	31
Tabla 2.2. Escala para medición de fitotoxicidad y control de maleza.	41
Tabla 2.3. Control de trompillo según el herbicida aplicado.	42
Tabla 2.4. Fitotoxicidad del cultivo dependiendo de los diferentes tratamientos.	43
Tabla 3.1. Valores obtenidos para HSV.	61
Tabla 3.2. Máximos y mínimos para cada canal.	63

Tabla 4.1. Valores para el 22 de abril.	77
Tabla 4.2. Máximos y mínimos para el 22 de abril.	79
Tabla 4.3. Valores para el día 30 de abril.	79
Tabla 4.4. Máximos y mínimos para el 30 de abril.	81

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

A diferencia de otros recursos obtenidos del suelo terrestre, como los minerales, oro o piedras preciosas, el alimento es algo de lo que no se puede prescindir. La supervivencia de la población mundial depende de ello, por eso siempre ha sido considerada "el primer trabajo humano" junto con la caza y la pesca. Pero en la actualidad y en el futuro, la tecnología podría contribuir sin dudas a eliminar este paradigma de la edad media.

Con el incesante crecimiento poblacional, que necesitará refugio y comida, expertos han comenzado -e incitan a hacer a todos- de incorporar distintos métodos tecnológicos para colaborar y evitar pérdidas en las prácticas agrícolas. De esta manera la agricultura sería sostenible, generando y regulando al mismo tiempo dicha práctica casi vital para el desarrollo de la vida humana.

La contaminación, erosión, deforestación, migraciones de distintas especies de la fauna, pérdida de suelos aptos para la agricultura, etc. son las causas principales del porqué la tecnología debería implementarse en gran escala en la producción agrícola, para controlar y prevenir estos inconvenientes como principal finalidad. La agricultura no es una práctica propia de un ciclo natural, por lo que está claro que si el hombre genera los problemas al trabajar la tierra de esta manera, también debe pensar en sus inmediatas soluciones.

El problema del consumo excesivo y de no poder recuperar luego esa materia prima no-renovable genera controversias, que siguen siendo debatidas para subsanarlas. La base no es producir cantidades inmensas, sino saber administrar de forma equitativa y sin daño al medio ambiente estos recursos naturales.

La tecnología entonces se vuelve clave para el desarrollo gradual del uso de nutrientes, para productos de control de plagas y equipo agrícola.

En cuanto a la tecnología computacional, combinada con aparatos de ubicación geográfica y avances en sensores remotos, prometen cambiar radicalmente la forma de cómo serán controlados y manejados todos los cultivos. Esto sería la llamada Agricultura de Precisión [1].

La Agricultura de Precisión requiere del uso de varias herramientas para estimar, evaluar y entender las variaciones en el clima, condiciones del suelo, etc. La información recolectada puede ser usada para evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar el uso de fertilizantes, optimizar la gestión del recurso hídrico, predecir con más exactitud la producción de los cultivos y la calidad del producto final, así como también optimizar los rendimientos a través de prácticas de cosechas automatizadas [2].

Uno de los insumos más utilizados en la agricultura son los herbicidas, uno de los métodos de aplicación de estos es utilizando tractores equipados con aguilones (Figura 1.1), los cuales asperjan el herbicida sobre el cultivo conforme el tractor avanza, esto se con los aguilones asperjando herbicida sobre toda la parcela, sin hacer una selección entre cultivo bueno y maleza.



Figura 1.1. Aplicación de herbicidas con aguilones [3].

En este trabajo se crea un sistema de visión artificial para la detección de cualquier maleza en pre y la maleza denominada "Trompillo" en post, esto en el cultivo del sorgo, esto se realizará utilizando herramientas de la agricultura de precisión, como el procesamiento digital de imágenes. Este sistema podrá ser

utilizado en un futuro para poder controlar la apertura o cierre de las boquillas con las que cuentan los aguilonos de los tractores.

Todo el sistema se programó en el Departamento de Estudios de Posgrado del Instituto Tecnológico de la Laguna.

Para la programación del sistema se hicieron uso de videos de prueba, los cuales fueron grabados en parcelas que se encuentran en el Ejido La Luz de San Pedro de las Colonias Coahuila.

1.1 ANTECEDENTES

A partir de la década de los setentas, se comenzó a delinear una nueva forma de hacer agricultura con los estudios sobre automatización de máquinas agrícolas. Posteriormente, a finales de la década de los ochentas y comienzos de los noventas, con la liberación del sistema de posicionamiento global por satélite para uso civil, fue posible desarrollar equipos inteligentes que permitieron el manejo localizado de las prácticas agrícolas, con una mayor eficiencia de aplicación de insumos. Esto redujo el impacto ambiental y, como consecuencia, disminuyeron los costos de la producción de alimentos.

Todo esto permitió ir configurando el concepto de agricultura de precisión como el conjunto de técnicas orientado a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola.

La tecnología no consiste solamente en medir la variabilidad existente en el área, sino también en la adopción de prácticas administrativas que se realicen en función de esa variabilidad. No es una novedad la observación de la existencia de variabilidad en las propiedades o factores determinantes de la producción en los agro-ecosistemas. Lo que es diferente, en realidad, es la posibilidad de identificar, cuantificar y mapear esa variabilidad. Más aun, es posible georreferenciar y aplicar los insumos con dosis variables en puntos o áreas de coordenadas geográficas conocidas. De esta forma, se definen prácticas agrícolas orientadas a sustituir la recomendación habitual de insumos con base en valores promedio, como ocurre

on la agricultura tradicional, por una más precisa, con manejo localizado, que considera las variaciones del rendimiento en toda el área [4].

En cuanto a la agricultura de precisión relacionada con la eliminación de malezas se han encontrado diferentes trabajos, como por ejemplo en 1999 en la Universidad de California desarrollaron un robot que detectaba y eliminaba maleza en cultivos de tomate, esto lo hacía recorriendo los surcos de cultivo a 1.2 km/h, tomando fotografías de 11.43 cm x 10.16 cm para procesarlas y .34 segundos después aplicaba el herbicida dependiendo de la posición en la que se encontraba la maleza. La detección de la maleza lo hacía separando todas las plantas del fondo (tierra), después cada hoja del cultivo la examinaba detectando diferentes características físicas (forma, ancho, largo, curvatura de sus bordes) y después de un procesamiento de esas características podía determinar si era una planta de tomate o de maleza [5].

Otro de los trabajos encontrados fue uno realizado en 2009 por una empresa de Reino Unido, el cual detectaba "volunteer potatoes" en un campo de cebollas, la detección de maleza la realiza analizando la forma de las hierbas, la discriminación entre la maleza y las cebollas es muy rápida ya que la fisionomía de una y otra son muy distintas, este proyecto ya ha sido probado en tractores adaptados para el proceso [6].

1.2 ANTECEDENTES EN EL TECNOLÓGICO DE LA LAGUNA

En el Instituto Tecnológico de la Laguna se han realizado proyectos relacionados con el uso de nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura.

Uno de ellos es la creación de una "Red Inalámbrica de Sensores Para Monitoreo de Humedad Enterrada", el cual consiste en la implementación de redes inalámbricas de sensores como una alternativa de tecnología que permitiría el monitoreo regional y no puntual, lo cual facilitaría el análisis de los datos al tener el comportamiento global de la variable. La estructura de estas redes es flexible, los protocolos de comunicación son seguros y de bajo consumo. Con todo esto se monitorea la humedad en el suelo en un área de cultivo experimental con el objetivo de probar diferentes tipos de riego y hacer más eficiente el uso de agua.

Se diseñó un prototipo de red para la medición de la humedad enterrada con una arquitectura básica, la cual consiste en el diseño de cuatro módulos electrónicos con micro controladores tipo PIC. La red se estructuró como una red de área personal de bajo consumo energético que sigue el estándar de comunicación de redes IEEE 802.15.4 y un protocolo P2P para lograr una red de largo alcance y bajo consumo [7].

Otro de los trabajos es el "Diseño e implementación de una estación climática" para monitoreo de variables ambientales utilizando sensores (anemómetros, piranómetros, sensores de presión atmosférica, etc). Con el uso de estos sensores se miden las distintas variables que se tienen en un campo agrícola (radiación solar, humedad del aire, velocidad y dirección del viento), y con estos valores obtenidos se toman decisiones sobre riegos y fumigaciones, para así tener un mejor aprovechamiento de recursos [8].

También se realizó el trabajo llamado "Desarrollo de una base de datos para caracterización de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en un sistema de visión artificial" en el cual se creó un sistema de información que sirva como herramienta de un sistema de visión para la caracterización de las deficiencias nutricionales (nitrógeno, fósforo y potasio) y el estrés hídrico del cultivo de la alfalfa, integrando el reconocimiento visual computarizado del estrés hídrico [9].

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Algunos de los problemas existentes en post-emergencia durante el proceso de eliminación de malezas por medio de herbicidas y que se trataran de resolver con este trabajo son:

1.3.1 Pérdidas por fitotoxicidad

La fitotoxicidad es un efecto detrimental, nocivo o dañino de una sustancia química que se puede manifestar en distintos órganos en la planta. Es una característica indeseable no siempre evitada en el desarrollo de un nuevo compuesto químico. La misma se manifiesta a través de síntomas como reducción del crecimiento de la planta, enrollamiento foliar, manchas, clorosis y necrosis internerval, lesiones,

caída de flores y frutos y reducción de la producción. Por ende, se deben tomar cuidados en su uso, como por ejemplo, dosis correcta y no aplicar en horas de alta radiación [10].

El efecto de la fitotoxicidad se ve reflejado directamente en el rendimiento de producción de las zonas agrícolas. Por ejemplo, en la Figura 1.2 se pueden ver plantas de sorgo con curvaturas debido al efecto del herbicida.



Figura 1.2. Plantas de sorgo dañadas por herbicida 2 4-D [11].

1.3.2 Daños al ambiente por herbicidas

Uno de los mayores retos actuales de la agricultura es el manejo de "malezas", que se puede controlar, más no prevenir. Las formas de eliminación o control de vegetación por acción humana han sido muchas y variadas, y van desde la extracción manual a la aplicación de compuestos químicos conocidos como plaguicidas. Del total de plaguicidas existentes en el mercado, entre el 55 y 60% son herbicidas, con cerca de 400 compuestos desarrollados y registrados. El principal objetivo de los herbicidas es evitar o controlar el crecimiento de plantas no deseadas en los cultivos, que comúnmente es la vegetación natural del lugar.

El uso de productos químicos ha resuelto tantos problemas como los que ha generado. Ha fomentado la aparición de variedades resistentes de malezas, efectos no deseados en el ambiente, muerte de animales y (no el más grave, pero tal vez el más importante) daños a la salud humana. Ha habido muchos esfuerzos

de distintos tipos para minimizar las complicaciones arriba listadas como la rotación de cultivos, aplicación de distintos herbicidas o mezclas de ellos.

Es frecuente detectar herbicidas en el agua o suelo de zonas agrícolas o sus alrededores donde han sido aplicados, en parte por la persistencia del compuesto, aunado a la sobre aplicación que frecuentemente se realiza como práctica común[12].

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Diseñar y desarrollar un sistema de visión artificial de detección de maleza en sorgo para la aplicación controlada de herbicidas.

1.4.2 Objetivos Específicos

- **Revisión del estado del arte**

Realizar investigación de los diferentes tipos de tecnología que se utiliza en la agricultura de precisión. También se buscaron proyectos o tecnologías existentes que se orienten a la detección de malezas.

- **Creación de una pequeña base de datos**

Comenzar con la creación de una pequeña base de datos que contenga información sobre características de malezas que ayuden a su detección en diferentes etapas de crecimiento del cultivo.

- **Programación y prueba del sistema**

Desarrollar el sistema de detección y a su vez probarlo en una parcela. El sistema debe funcionar en la detección de malezas al momento de aplicación de herbicidas en pre-emergencia y post-emergencia.

- **Interfaz gráfica**

Programar una interfaz gráfica en la cual se pueda interactuar con el programa creado, en ella también agregar distintos complementos para hacer más eficiente el uso del sistema.

1.5 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Qué niveles de popularidad tiene la agricultura de precisión en México?
- ¿Qué beneficios se pueden tener al usar un sistema de detección de malezas?
- ¿Cuál es el método ideal para crear un sistema de detección?
- ¿Cuáles son las posibilidades de crecimiento en el sector de agricultura de precisión?

1.6 JUSTIFICACIÓN

Hoy en día debido a la aplicación de herbicidas en los cultivos se tienen los problemas antes mencionados (fitotoxicidad y daños al ambiente), con este proyecto se pretende reducir significativamente el número de plantas de cultivo dañadas por fitotoxicidad y así mejorar el rendimiento de producción de la parcela, también al usar herbicida solo sobre la maleza se reduciría en gran medida la cantidad de herbicida asperjado, dando lugar a una menor contaminación por el uso de estos productos. Otro punto a favor, es que en México la agricultura de precisión no tiene una gran popularidad, por lo que se ayudaría al desarrollo de esta tecnología en el país.

1.6.1 Impacto social

Para el año en curso (2017) se prevé que para el ciclo primavera-verano nacionalmente se tiene una intención de siembra de 11, 481,888 hectáreas, de las cuales 957, 502 son destinadas a la producción de sorgo (forrajero y grano). Hablando a nivel nacional este proyecto beneficiará a los propietarios de todos esos terrenos, siempre y cuando cuente con equipo necesario para la aplicación de herbicidas.

1.6.2 Impacto tecnológico

Durante la búsqueda de tecnologías similares a la que se presenta en este proyecto se encontraron algunas que aún están en desarrollo, estas tecnologías difieren a la de este proyecto en el método que se utiliza para distinguir entre maleza y cultivo. Se está incursionando en el desarrollo de una tecnología de reciente creación.

1.6.3 Impacto económico

Al reducir el número de plantas afectadas por fitotoxicidad se tendría una mayor ganancia debido al aumento de la producción de kg/ha que se tendría al usar la tecnología de este proyecto. También se tendría un mejor aprovechamiento del herbicida, cubriendo una mayor área de cultivo con una cantidad menor, reduciendo costos por el uso de estos agroquímicos. Al ayudar a eliminar maleza se reducirían las pérdidas económicas causadas por los daños que causan las malezas a los cultivos.

En cuanto a la creación de nuevas fuentes de empleo, este proyecto podría dar pie a la creación de una empresa orientada a la agricultura de precisión, mejorando la economía de la región.

1.6.4 Impacto ambiental

En adición al ahorro económico por la disminución de uso de herbicidas, también se tiene un impacto ambiental favorable con el desarrollo de este proyecto, ya que se aplicaría menos herbicidas a los cultivos, reduciendo los contaminantes arrojados al suelo y agua cercanas a las zonas de aplicación, también se evitaría el desarrollo de malezas resistentes a herbicidas debido al uso excesivo de estos.

1.6.5 Viabilidad de la investigación

Este proyecto es viable porque:

- Se cuentan con los conocimientos, instalaciones, equipo y demás recursos necesarios.
- Los costos de los materiales necesarios son bajos y estos son fáciles de conseguir.
- El que se cuente con todo lo necesario conlleva a que el tiempo de desarrollo sea corto.
- Hay antecedentes de trabajos relacionados, en el posgrado en electrónica del IITL.
- Se cuenta con asesoría de expertos en las ramas de electrónica, visión artificial y agricultura.

1.7 BOSQUEJO DEL MÉTODO

En la Figura 1.3, se presenta un diagrama de flujo en el cual se indica el orden de las actividades a realizar para lograr los objetivos de este proyecto.

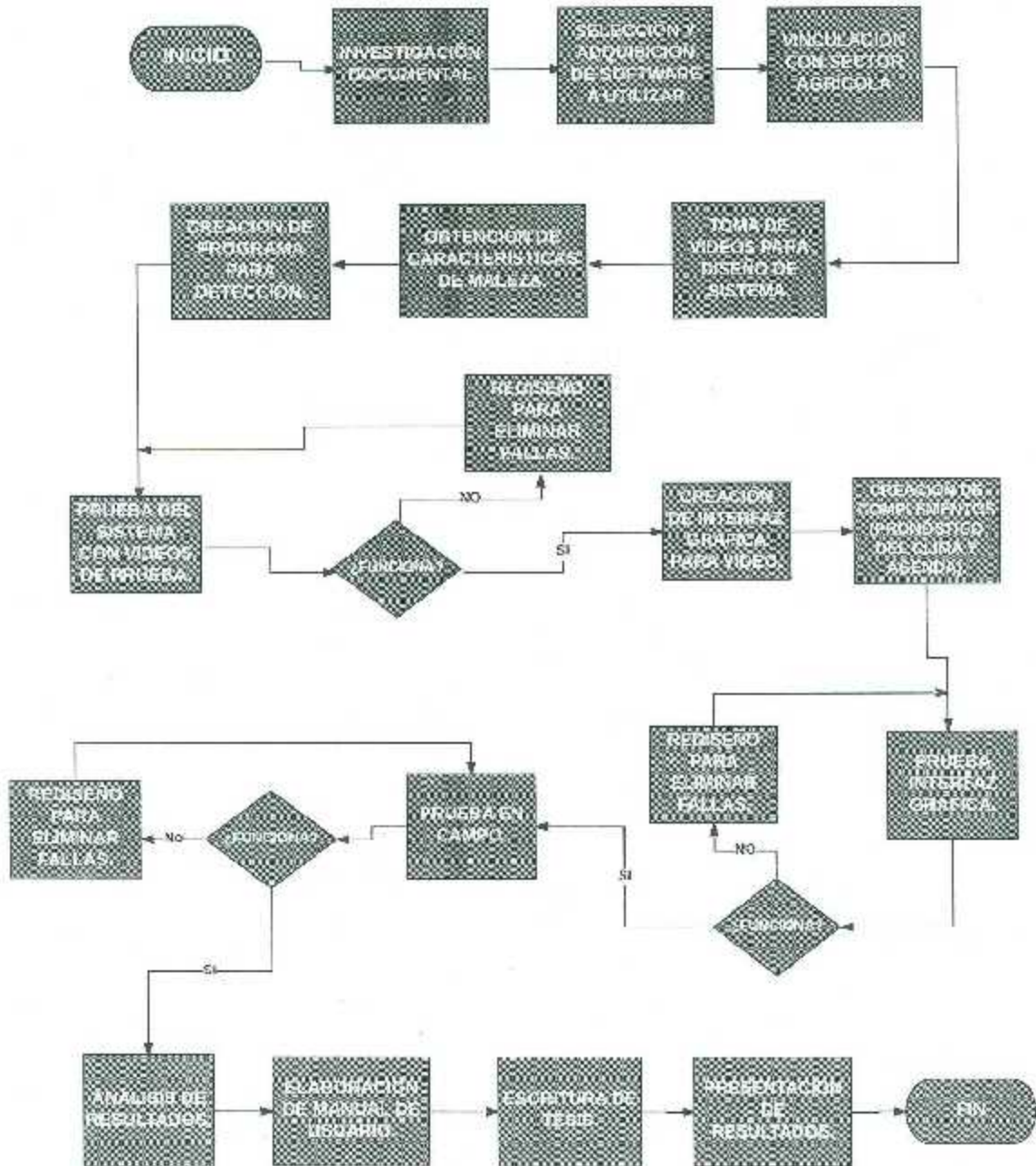


Figura 1.3. Bosquejo del método.

Capítulo 2. MARCO TEÓRICO.

2.1 AGRICULTURA

La Agricultura está conformada por la suma de dos partes: el término *agri* que es sinónimo de "campo de cultivo" y el concepto *cultura* que puede traducirse como "cultivo o cultivado". La agricultura es la labranza o cultivo de la tierra e incluye todos los trabajos relacionados al tratamiento del suelo y a la plantación de vegetales. Las actividades agrícolas suelen estar destinadas a la producción de alimentos y a la obtención de verduras, frutas, hortalizas y cereales. La agricultura implica la transformación del medio ambiente para satisfacer las necesidades del hombre[13].

Es una de las actividades más importantes para la economía de un país, y el mejorar las técnicas de producción y las condiciones humanas del agricultor constituye una de las constantes preocupaciones de los gobiernos. El mayor rendimiento de las tierras se encuentra íntimamente relacionado con las características del suelo, el nivel de agua freática y el clima. En América Latina se destina aproximadamente un 35% de todo el espacio territorial a la agricultura [14].

2.1.1 Historia de la agricultura

Podría definirse a la agricultura como la actividad que ha realizado el hombre desde las épocas más antiguas (sus orígenes se remontan a 14.000 AC) utilizando conocimientos basados en la experiencia, con la finalidad de producir alimentos y materias primas, mediante la utilización del suelo.

La agricultura es señalada como la clave para entender el inicio de las civilizaciones y su surgimiento, tuvo un impacto evidente, por primera vez era posible influir en la disponibilidad de los alimentos [13]. Se afirma que la idea de sembrar surgió cuando en sus recorridos de ciclo estacional las tribus recolectoras percibieron los sitios en los que se concentraban las plantas cuyos frutos consumían comprobando que los mismos coincidían con los lugares donde habían acampado en años anteriores. comiendo los frutos y abandonando en el lugar las semillas. De la imitación del proceso natural, conservando las semillas y

plantándolas de modos cada vez más ordenados, surgieron los cultivos [15]. Las consecuencias de este descubrimiento fueron estremecedoras: aparecieron las primeras aldeas, los recolectores nómades se transformaron en campesinos sedentarios.

Probablemente no sea una coincidencia que el inicio de la agricultura hace 10.000 años coincidiese con el final de la última glaciación. Al calentarse la tierra, las capas de hielo que cubrían la mayor parte del norte de Eurasia y América del Norte se derritieron, liberando grandes cantidades de agua dulce [13].

El surgimiento de la agricultura y la ganadería implicó aumentos en la productividad del trabajo que permitieron la mayor dedicación a actividades artesanales de las que apenas conocemos como testimonios prehistóricos los instrumentos y armas de "piedra pulida" y restos cerámicos. La palabra "neolítico" surge de la unión de "neo" –nuevo- y "lito" –piedra-, y diferencia a este período del paleolítico ("paleo" por antiguo), de más de un millón de años donde los más antiguos instrumentos de piedra sin pulir que correspondieron a las hordas paleolíticas nómades cazadoras y recolectoras. La revolución agrícola comenzó entre 8.000 y 4.000 años AC, en varios enclaves de África, Asia y América.

De los "tipos de productores" de la agricultura neolítica o prehistórica se infiere que predominaron los pequeños y medianos grupos de parentesco, en clanes o tribus frecuentemente matriarcales, que a partir de aldeas relativamente estables ejercían su dominio sobre los territorios hasta donde alcanzaba su limitada capacidad de cultivo, pastoreo, caza y recolección.

El materialismo histórico –el Marxismo- denomina "comunidades primitivas" y "comunismo primitivo" a esta etapa de la humanidad, donde todos debían trabajar para alimentarse y no generaban excedentes cuya apropiación pudiera dar lugar a diferencias sociales entre dominadores y dominados.

Pese a la enorme distancia temporal y tecnológica que nos separa de la agricultura y la ganadería neolítica, su influencia sobre la agricultura actual es de gran incidencia. La casi totalidad de las especies vegetales y animales con que hoy producimos fueron las seleccionadas y domesticadas por los agricultores y ganaderos neolíticos para la siembra y la crianza.

En determinadas regiones de escasas lluvias y con ríos aprovechables, los agricultores desarrollaron el riego, logrando con él un significativo avance en la productividad de la tierra y del trabajo. Para regar, las pequeñas aldeas que compartían tramos del río debieron articularse para la realización de obras como tomas, diques y canales para el mejor aprovechamiento del agua y también para evitar conflictos por ella. Esto llevó a la evolución de aldeas a estados, como confederaciones de aldeas, y luego de estados a grandes imperios, como confederaciones de estados. Fueron casos de imperios como los mesopotámicos, egipcio, azteca, incaico y muchos otros en medio oriente, India y China [15].

La introducción de los metales supuso un avance sustancial para la agricultura, especialmente en lo referido a las herramientas, pero también en cuanto al almacenamiento, conservación, sistemas de irrigación, etc. En general se manifestó un perfeccionamiento de las técnicas y labores agrícolas que redundaron en un mayor rendimiento productivo.

Las antiguas herramientas mejoraron en dureza y eficacia y aligeraron considerablemente la rudeza de los trabajos.

El bronce, y después el hierro fueron capitales en el desarrollo de la agricultura y, en general, para la construcción de todo tipo de útiles y herramientas: azadas, arados, hachas, etc., y también armas.

El arado era una de las herramientas más apreciadas; una reja metálica convenientemente moldeada y tirada por bueyes permitía el volteo de la tierra facilitando su acondicionamiento.

También se idearon sistemas para realizar más eficazmente determinadas labores, por ejemplo, unos 3.000 años a.C., en Mesopotamia, se adaptó el arado con un dispositivo que permitía sembrar las semillas.

En Asia también se descubrieron nuevos sistemas de mecanizar la siembra. Durante mucho tiempo en muchas regiones, las labores de trilla, recolección, empaquetado, etc., siguieron siendo manuales, aunque en las ciudades Palestina y Mesopotamia ya se realizaba la trilla con ayuda de animales desde los primeros tiempos del arado de hierro.

Unos 2.000 años a.C. los sistemas de irrigación en regiones como Oriente Próximo, Egipto o China, ya resultaban suficientemente eficaces como para explotar amplias superficies de tierra [13].

El rendimiento del trabajo agrícola de los hombres desempeñándose con "herramientas" (de hierro, como el nombre lo dice) resulta muy superior al de los que trabajan con instrumentos de piedra o madera.

Esto determinó que un grupo humano pudiera producir más de lo que necesitaban para alimentarse y también que, forzado por la violencia, pudiera producir para quienes lo dominaran.

Además de herramientas, el hierro produjo armas que sirvieron a unos pueblos para imponerse sobre otros, con el principal propósito de esclavizarlos para aplicarlos a la agricultura y la manufactura con finalidad comercial. En los imperios esclavistas aproximadamente el 80 % de la población fue esclava.

El fin de la agricultura esclavista se relaciona con la lenta caída del imperio romano ante el avance de las migraciones nórdicas o "invasiones de los bárbaros": pueblos de culturas más ganaderas e itinerantes que agrícolas y sedentarias.

También se considera que los componentes técnicos de estas culturas tuvieron influencia en la caída del esclavismo. Con el aporte "bárbaro" de un arnés rígido como la pechera el caballo pudo aplicar toda su fuerza al trabajo, y la herradura aumentó su capacidad y prolongó su vida útil. Con esta innovación, junto con el arado y la rastra tirados por caballos en lugar de la pala y la azada, la energía del trabajo humano esclavo fue cada vez más prescindible. Con esto, de la "agricultura comercial esclavista" del imperio romano, se evolucionó hacia la agricultura feudal, que se describe más adelante. Indudablemente influyó también la presión por producir por cuanto el derrumbe del comercio imperial dejó sin colocación la producción que excediera el consumo local. El imperio romano quedó reducido a una multitud de feudos que tendían a autoabastecerse [15].

2.1.2 Historia de la agricultura en México

La historia de la agricultura en México comienza desde tiempos prehispánicos. La agricultura mexicana en esa época era una de las más ricas en la historia de la humanidad, surgió gracias a la domesticación del maíz y el cultivo del mismo,

imbricado con el del frijol, el chile y la calabaza. Esta combinación fue tan exitosa que se logró alimentar a toda la región mesoamericana y la intensidad lograda en las zonas chinamperas del valle de México le permitió generar excedentes amplios que forjaron las civilizaciones toltecas, náhuatl, tenoxca, así como en el suroeste, el cultivo hidráulico de camellones permitió el surgimiento del Imperio Maya Clásico.

La agricultura irrigada y tecnificada, intensiva en el uso del suelo y en mano de obra, sigue siendo un hecho que todavía podemos constatar en el campo mexicano, si bien no con el esplendor y gloria de aquella época, pero, eso sí, enmarcada en su tradición milenaria, a pesar del paso de los siglos, de la conquista, de la insurgencia y de la revolución.

Al llegar, el conquistador encontró un sistema agrícola ajeno a su realidad ecológica que no comprendió y destruyó en gran parte. Pero, en cambio, aportó la tradición ibérica que se aplicó a grandes zonas de México. En este periodo, el territorio se incrementó y se ensanchó hacia el norte.

La frontera agrícola tuvo, por un tiempo, horizontes ilimitados en donde se produjeron grandes cantidades de productos americanos y europeos e hizo su aparición la ganadería. Tan bien se acopló y adaptó esta, que el paisaje norteco no puede prescindir de la ganadería desde esa época [16].

2.2 SORGO

El sorgo (*Sorghum spp*) es una gramínea de origen tropical que ha sido adaptada, a través del mejoramiento genético, a una gran diversidad de ambientes, siendo considerado uno de los cultivos mundiales de seguridad alimentaria [17]. Es un cultivo reconocido entre los productores por su habilidad para rendir consistentemente en ambientes hostiles. Su adaptación a una amplia gama de condiciones de suelo, y la destacada tolerancia a deficiencias hídricas lo posicionan como una interesante alternativa productiva [18].

Además, el sorgo está provisto de una estrategia de latencia que le permite suspender el crecimiento hasta que se restablezcan nuevamente las condiciones favorables. Por otro lado, son muy variados sus posibles usos para la alimentación ganadera, pudiendo ser utilizado como verdeo de verano bajo pastoreo directo, diferido, como reservas en forma de silo de grano húmedo y de planta entera o como concentrado.

El sorgo tiene la particularidad de aportar elevadas cantidades de rastrojo que contribuyen a mejorar la cobertura de los suelos. Además presenta un sistema radical muy desarrollado y profundo que le permite muy buena exploración del perfil del suelo por un lado que contribuye a mejorar la estructura del mismo, ayudando a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas.

Debido a sus cualidades, el sorgo se presenta como una alternativa muy propicia para aquellos sistemas en que se desee mantener las buenas condiciones de fertilidad, como así también es un cultivo ideal para sistemas de producción bajo siembra directa.

La semilla de sorgo es la más pequeña de los cultivos de cosecha gruesa, por lo tanto, su crecimiento inicial será más lento que el del maíz o la soja. De hecho, el crecimiento no es muy rápido hasta los 15 cm de altura, cuando la planta ya tiene establecido el sistema de raíces y comienza a absorber los nutrientes más rápidamente [17].

2.2.1 Características botánicas del sorgo

La planta del sorgo tiene características muy particulares, las cuales se describen en la **Figura 2.1**.

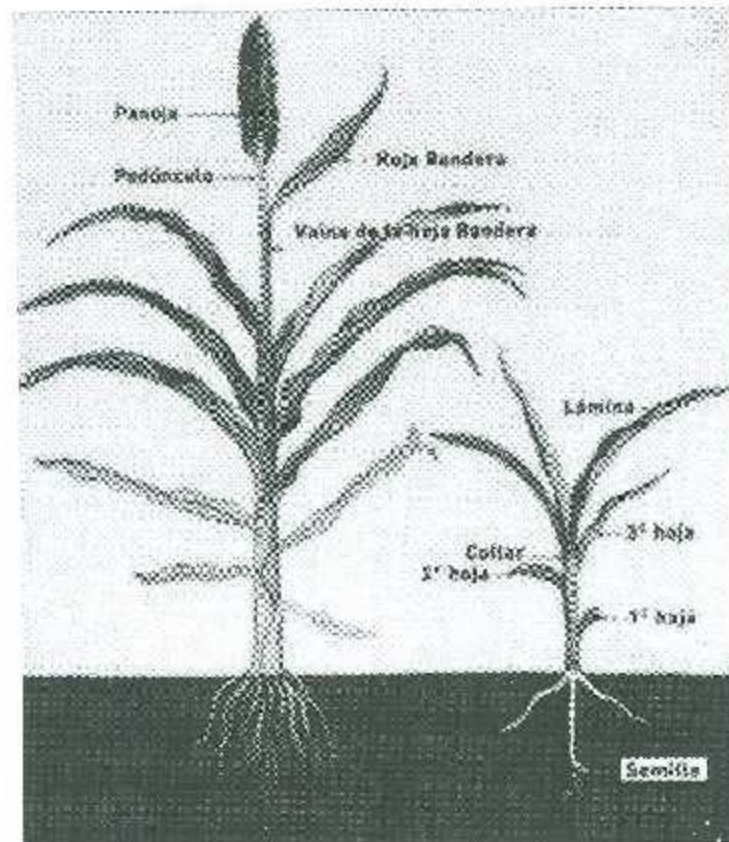


Figura 2.1. Características del sorgo en diferentes etapas de crecimiento (maduro y tres hojas) [18]

2.2.1.1 Raíz.

El sistema radical adventicio fibroso se desarrolla de los nudos más bajos del tallo. La profundidad de enraizado es generalmente de 1 a 1.3 metros, con 80% de las raíces en los primeros 30 centímetros. El número de pelos absorbentes puede ser el doble que en maíz, las raíces de soporte pueden crecer de primordios radicales, pero no son efectivas en la absorción de agua y nutrientes.

2.2.1.2 Tallo.

El sorgo es una planta de un solo tallo, pero puede desarrollar otros (hijos) dependiendo de la variedad y el ambiente; está formado de una serie de nudos y entrenudos, su longitud varía de 0.5 a 4 metros, su diámetro de 0.5 a 5 cm cerca

de la base, volviéndose más angosto en el extremo superior; su consistencia es sólida con una corteza o tejido exterior duro y una médula suave. Los tallos tienen de 7 a 24 nudos y son erectos.

2.2.1.3 Hojas.

El número de hojas varía de 7 a 24 según la variedad y el período de crecimiento, son erectas hasta casi horizontales y se encorvan con la edad. La longitud de una hoja madura oscila entre 30 a 135 cm y su ancho entre 1.5 a 15 cm; son alternas y lanceoladas o linear-lanceoladas, con una superficie lisa y cerosa.

2.2.1.4 Inflorescencia.

Es una panícula de racimo con un raquis central completamente escondido por la densidad de sus ramas o totalmente expuesto, cuando está inmadura es forzada hacia arriba dentro de la vaina más alta (buche), después que la última hoja (bandera) se expande distendiéndola a su paso. La exersión es importante para la cosecha mecanizada y para la tolerancia de plagas y enfermedades. La panícula es corta o larga, suelta y abierta, y compacta o semicompacta (**Figura 2.2**). Puede tener de 4 a 25 cm de largo, 2 a 20 cm de ancho y contener de 400 a 800 granos, según el tipo de panícula [19].

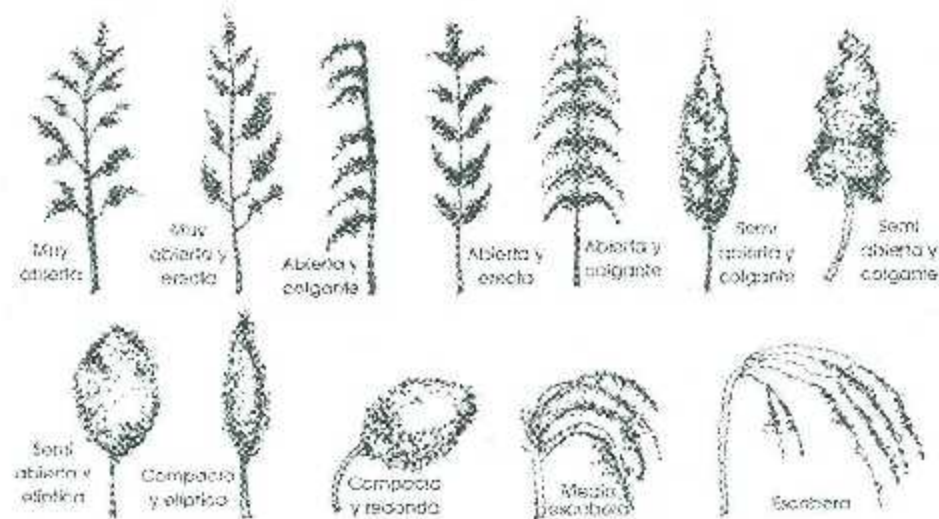


Figura 2.2. Diferentes formas de panículas en el sorgo [19].

2.2.2 Etapas de crecimiento del sorgo

Saber cuáles son las distintas etapas de desarrollo en el sorgo ayudará a saber en qué momentos la planta necesita más cuidados para un desarrollo óptimo.

Las etapas de desarrollo del sorgo son nueve (Figura 2.3):

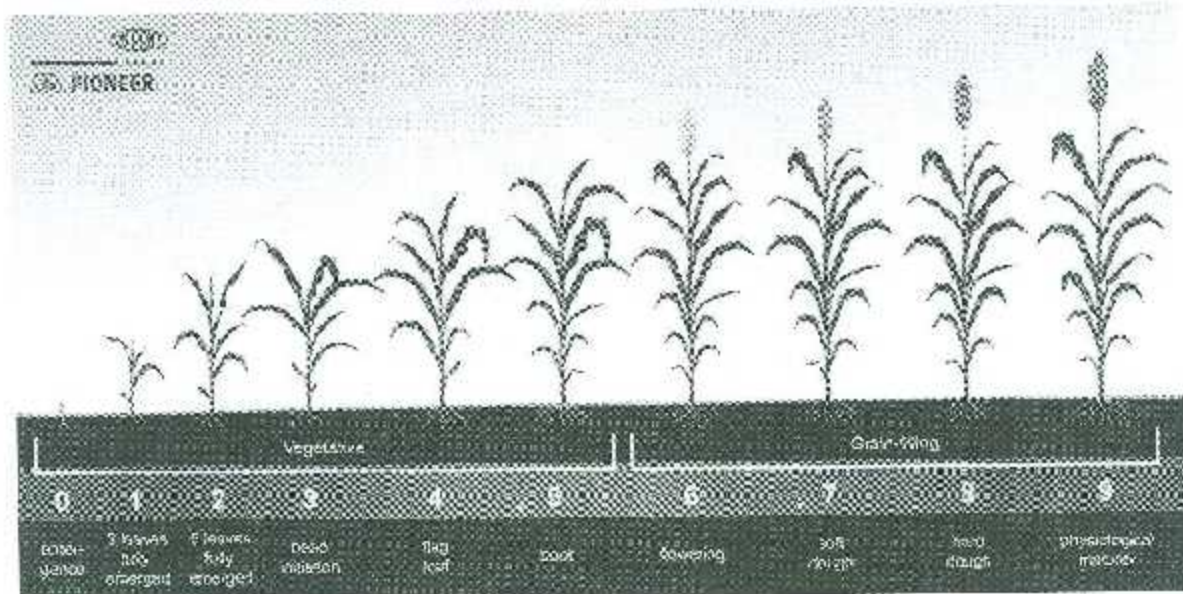


Figura 2.3. Etapas de crecimiento del sorgo [20].

- **Etapa 0: Emergencia.**

La emergencia ocurre cuando el coleóptilo es visible en la superficie del suelo, que es por lo general 3 a 10 días después de la siembra. En esta etapa es posible tratar las semillas con fungicidas, insecticidas, y considerar futuras opciones de control de malezas.

- **Etapa 1: Estado de tres hojas.**

La etapa de tres hojas se produce cuando las lígulas de tres hojas se pueden ver sin tener que romper la planta. Esta etapa se produce aproximadamente 10 días después de la emergencia, dependiendo de la temperatura.

El crecimiento lento y deficiente control de malezas puede reducir considerablemente los rendimientos ya a partir de este momento.

- **Etapa 2: Estado de cinco hojas.**

La etapa dos se produce cuando las ligulas de cinco hojas se pueden ver sin necesidad de romper la planta, y se produce cerca de 3 semanas después de la emergencia. Durante esta etapa se determina el desarrollo potencial de la planta, ya que se establece el número total de hojas que tendrá. Los rendimientos se pueden disminuir drásticamente si no se toman medidas para evitar la competencia de las malezas, la carencia de nutrientes, de agua o el ataque de plagas.

- **Etapa 3: Diferenciación del punto de crecimiento.**

En esta etapa el punto de crecimiento de la planta de sorgo cambia de vegetativo a reproductivo, que es cuando la planta ha alcanzado el 5% de su crecimiento total, y ha tomado el 10-15% de todos los nutrientes que tomará durante el ciclo. A partir de este momento se define el tamaño potencial de la panoja. La absorción de nutrientes es rápida, por lo que el suministro adecuado de nutrientes y agua son necesarios para proporcionar el máximo crecimiento. Las plantas de sorgo crecen muy rápidamente y son muy competitivas en esta etapa, ayudando a mantener un buen control de malezas hasta el final del ciclo. Esta etapa se produce aproximadamente 30 días después de la emergencia, cuando el cultivo ha llegado a un tercio del ciclo.

- **Etapa 4: Última hoja visible.**

En este punto, todas, excepto las últimas 3 o 4 hojas se han expandido totalmente, es decir, se ha determinado el 80% del área foliar. Las últimas 2-5 hojas (inferiores) se han perdido.

- **Etapa 5: Panoja embuchada.**

En esta etapa todas las hojas se han expandido totalmente, lo que significa que la planta se encuentra en sus niveles máximos de área foliar e intercepción de luz. El estrés por falta de humedad o por acción de algún herbicida puede provocar que la panoja no termine de salir de la vaina de la hoja bandera, provocando así una polinización incompleta.

- **Etapa 6: 50% de floración.**

Esta etapa se define cuando la mitad de las plantas están en la etapa de floración, la cual comienza en la parte superior de la panoja, y baja en 4-9 días. El cultivo ha cumplido el 60% del tiempo total entre la siembra y madurez fisiológica.

- **Etapa 7: Grano pastoso.**

En esta etapa, el grano tiene una consistencia pastosa y el llenado de granos se produce rápidamente. Las hojas inferiores siguen envejeciendo, entre 8 a 12 hojas mueren en esta etapa.

- **Etapa 8: Grano duro.**

En esta etapa se alcanza las tres cuartas partes del peso seco del grano. La absorción de nutrientes en este momento es prácticamente nula. Un estrés hídrico severo así como una helada temprana se traducirá en un grano chuzo.

- **Etapa 9: Madurez fisiológica.**

En esta etapa se alcanza el máximo peso seco de la planta. En los granos se forma un punto oscuro. La humedad del grano depende del híbrido, con valores que oscilan entre 25% y 35%. Esta madurez fisiológica no es la madurez de la cosecha, ya que el grano aún debe perder humedad antes de poder ser cosechado para un almacenamiento convencional. En cambio, si lo que se busca es un grano húmedo, o cosechar temprano para luego hacer un secado artificial, el sorgo se puede cosechar en cualquier momento a partir de esta etapa [17].

2.2.3 Proceso para cultivar sorgo

Para obtener una buena producción de sorgo, se deben seguir distintos pasos, los cuales se explican a continuación:

2.2.3.1 Selección del terreno

El sorgo forrajero requiere de suelos bien drenados y fértiles para que exprese su potencial de rendimiento; algunas variedades toleran mejor los suelos con condiciones de pH alto. Por lo general este cultivo mantiene buen comportamiento en los suelos de la región.

2.2.3.2 Preparación del terreno

Para obtener un buen establecimiento, se requiere de una buena preparación del terreno lo que facilitará la siembra, favorecerá la emergencia y el desarrollo del cultivo (Figura 2.4).



Figura 2.4. Preparación del terreno [21].

- **Barbecho:** El barbecho se deberá realizar después de la cosecha del cultivo anterior, a una profundidad de 30 cm. La rotura o barbecho se realiza con la finalidad de romper, aflojar y voltear la capa arable e incorporar los residuos de cosecha y propiciar su descomposición.
- **Rastreo:** El rastreo se debe efectuar cuando el suelo tenga un contenido de humedad adecuado, que permita desbaratar los terrones y dejarlos bien mullidos; además, se puede adicionar a la rastra un tablón o pedazo de riel

para emparejar el suelo. Si el suelo lo requiere, se puede realizar otro paso de rastra en sentido perpendicular (cruzado) al primero; en caso de que el suelo no quede parejo, se recomienda utilizar la niveladora.

- **Trazo de riego:** Un buen trazo de riego facilita el manejo del agua y mejora la eficiencia de aplicación de la misma.

2.2.3.3 Época de siembra

La mejor época de siembra para el sorgo forrajero comprende del 15 de marzo al 30 de abril, debido a que en fechas más tempranas se tiene problemas de baja emergencia de plantas por la baja temperatura del suelo y en época más tardía se presentan problemas con plagas y malas hierbas.

2.2.3.4 Método de siembra

La siembra del sorgo forrajero, se debe efectuar a tierra venida o bien en seco y regar inmediatamente después de la siembra. Para la siembra se utiliza una maquina sembradora de granos pequeños (triguera), enterrando la semilla a una profundidad de 2 a 3 cm., sobre hileras separadas de 15 a 17 cm. La siembra también se puede realizar al voleo, con maquina ciclónica o manualmente, cubriendo la semilla con un paso de rastra poco profundo. Para la siembra el terreno debe estar libre de cualquier maleza.

2.2.3.5 Cantidad de semilla

Para tener una población adecuada bajo condiciones de riego, se recomienda utilizar de 25 a 30 kilogramos de semilla por hectárea.

2.2.3.6 Fertilización

El sorgo forrajero responde adecuadamente a la aplicación de fertilizante, principalmente a nitrógeno y fósforo; por lo que se sugiere aplicar una fórmula por hectárea de 90 kilogramos de nitrógeno y 100 kilogramos de fósforo al momento de la siembra, antes del riego.

2.2.3.7 Riegos

Para lograr una buena producción de sorgo forrajero, es necesario realizar el riego de siembra o establecimiento y posteriormente aplicar dos riegos de auxilio; el primer riego de auxilio entre los 25 a 30 después del riego de siembra y el segundo entre los 20 y 25 días después del primer riego de auxilio con una lámina

de agua de 10 a 12 centímetros en cada riego. Con estos riegos se podrá obtener el primer corte de forraje a los 60 o 70 días después del riego de siembra.

2.2.3.8 Plagas

En el cultivo de sorgo forrajero la plaga de mayor importancia en la región, es el gusano cogollero el cual se presenta entre los 20 y 30 días después de la emergencia de plantas, principalmente en la siembra que se realiza en los últimos días del mes de abril. Esta plaga se controla químicamente con aplicación de Lorsban 480 E en dosis de 1.0 litros/hectárea.

2.2.3.9 Combate de malezas

El combate de malezas dependiendo de la situación puede darse en pre (siembra o emergencia) o en post-emergencia. La alta presencia de malas hierbas como: Polocote, Correhuela y Quelite, pueden disminuir el rendimiento de forraje. Para evitar lo anterior se debe mantener el cultivo libre de malas hierbas durante los primeros 30 días después de la emergencia de las plantas de sorgo. Estas se podrán eliminar con control químico aplicando de 1.0 a 1.5 litros del herbicida 2,4-Amina por hectárea en la cantidad de agua necesaria según el equipo de aplicación a utilizar. La aplicación de los herbicidas se debe efectuar en las horas menos calurosas del día y cuando haga poco viento [20].

2.2.4 Malezas en sorgo

Las malas hierbas están entre los principales problemas que limitan la producción de sorgo en el noreste de México. Una planta es considerada como mala hierba cuando crece en un lugar donde no es deseada y afecta los intereses de los seres humanos (**Figura 2.5**).

Al conjunto de malas hierbas en un lugar se le denomina maleza. En terrenos agrícolas, la maleza que se asocia a un cultivo incluye a las especies silvestres y a los cultivos "voluntarios" que emergen de ciclos anteriores. Sin embargo, las especies silvestres constituyen la mayoría de la maleza que se presenta en un cultivo.

Las malas hierbas silvestres presentan alta adaptación y desarrollo en áreas disturbadas por las labores agrícolas y, si no son controladas oportuna y

eficientemente, disminuyen significativamente el rendimiento y la calidad del grano de sorgo cosechado.

Las malas hierbas poseen características que favorecen su diseminación, infestación y permanencia en terrenos agrícolas, entre ellas destaca su alta capacidad reproductiva, ya que existen especies, como el quelite (*Amaranthus spp.*), que son capaces de producir hasta 500 mil semillas por planta en un ciclo de desarrollo de aproximadamente tres meses. Además, la semilla de la mayoría de las malas hierbas presentan gran longevidad y latencia, pues en algunas especies, como la correhuela perenne (*Convolvulus arvensis L.*), las semillas permanecen viables en el suelo hasta por 50 años. Debido a su latencia y longevidad, en un año sólo germina y emerge de 2 a 10% de la población total de semillas en el suelo y el resto del banco de semillas puede emerger en los años siguientes.

Por otra parte, la alta adaptación de las malas hierbas a los agros ecosistemas les permite competir ventajosamente por luz, agua y nutrimentos y afectar el desarrollo y rendimiento del sorgo. Debido a lo anterior, un manejo integrado de las poblaciones de maleza presentes y futuras es indispensable para lograr una producción rentable y sostenible de sorgo.

El manejo integrado de maleza implica no sólo depender de las medidas de control de la maleza existente, sino prevenir la producción de nuevos propágulos, reducir la emergencia de maleza en los cultivos y maximizar la competencia del cultivo hacia la maleza. El manejo integrado de maleza hace énfasis en la conjunción de medidas para anticipar y manipular las poblaciones de maleza, en lugar de reaccionar con medidas emergentes de control cuando se presentan fuertes infestaciones. El objetivo del manejo integrado de maleza es maximizar el rendimiento de los cultivos, optimizar las ganancias del productor y aumentar la eficiencia en la producción del cultivo, al integrar técnicas preventivas, conocimientos científicos y prácticas de manejo [11].



Figura 2.5. Sorgo con altas concentraciones de maleza [23].

2.2.5 Daños por malezas

Los principales daños que causa la maleza al sorgo son: afecta el desarrollo del cultivo, reduce el rendimiento y la calidad del grano cosechado e incrementa los costos de producción al requerir de prácticas para su control. En la agricultura, el aspecto económico de la maleza que se desarrolla junto con los cultivos es de importancia primaria, ya que tanto las malas hierbas como el cultivo requieren de factores básicos para su desarrollo, como son: agua, aire y nutrimentos del suelo. La competencia entre dos o más plantas vecinas se establece cuando uno o más factores esenciales para su desarrollo no se encuentran en suficiencia para satisfacer las demandas conjuntas de estas plantas. Bajo estas circunstancias, la especie mejor adaptada obtiene cantidades desproporcionadas de un factor y afecta el desarrollo de la otra planta.

Además, en algunas ocasiones la competencia de una maleza se incrementa por la presencia de compuestos que afectan el desarrollo de plantas vecinas. A este fenómeno se le conoce como alelopatía y resulta de la liberación directa de compuestos por órganos de la planta, como hojas o raíces; o bien, de la degradación de tejidos muertos de la planta en el suelo. Las malas hierbas perennes, como el zacate Johnson, la correhuela perenne y el coquillo rojo, son ejemplos de plantas que acentúan su competencia mediante la alelopatía.

Además de la competencia y la alelopatía, existe otro tipo de daños causados por la presencia de maleza en los cultivos, comúnmente llamados indirectos. Estos daños incluyen: mayor incidencia de insectos y patógenos que utilizan a la maleza como hospederas alternantes; disminución en la calidad de la producción por el incremento de humedad e impurezas en el grano; dificultad de cosecha mecánica y depreciación de los terrenos agrícolas por altas infestaciones de maleza. Un caso muy común de daño indirecto de maleza en sorgo en el noreste de México, es la presencia de plagas, como la mosquita del sorgo (*Contarinia sorghicola* Coquillett) y el barrenador del arroz [*Eoreuma loftini*, (Dyar)], y agentes causales de enfermedades del sorgo, como el carbón de la panoja [*Sphacelotheca reiliana* (Kühn)] y el ergot (*Claviceps africana* Frederickson, Mantle y De Milliano) en zacate Johnson [11].

Se han observado casos de parcelas con maleza en donde se tiene una reducción del 65% en rendimiento del cultivo en comparación con cultivos sin maleza [21].

En la **Figura 2.6** se puede observar la relación de rendimiento (kg/ha) con respecto al número de días que no se tiene algún manejo integrado de malezas y se deja competir al cultivo con la mala hierba.



Figura 2.6. Rendimiento de cultivo (kg/ha) con respecto a los días que se deja competir con maleza [25].

2.2.6 Clasificación de malezas

Por su morfología las malezas pueden ser clasificadas en tres categorías:

- **Hojas anchas:** Plantas con las nervaduras de las hojas en forma de red, dos hojas cotiledonares en las plántulas y raíces primarias con crecimiento vertical. Ejemplos: polocote (*Helianthus annuus L.*), amargosa (*Parthenium hysterophorus L.*) y correhuela (*Ipomoea spp.*).
- **Zacates:** Plantas con solo una hoja cotiledonar, hojas con nervaduras paralelas y raíces fibrosas. Ejemplos: zacate espiga (*Urochloa fasciculata Sw.*) y zacate lagunero [*Echinochloa colona (L.) Link.*].
- **Ciperáceas:** Plantas muy similares a los zacates; con tallos triangulares y hojas en rosetas en la base de la planta y de la inflorescencia. Ejemplo: coquillo rojo (*Cyperus rotundus L.*).

Otra forma importante de clasificación de las malas hierbas es por su ciclo de vida. En general, las malas hierbas son:

- **Anuales:** Plantas que completan su ciclo de vida en menos de un año. Pueden ser anuales de invierno (octubre-abril) o de verano (mayo-septiembre). Un ejemplo de mala hierba anual de invierno es la borraja

(*Sonchus oleraceus* L.) y una anual de verano es el quelite (*Amaranthus palmeri* S. Wats.)

- **Perennes:** Plantas que viven más de dos años y si se presentan condiciones favorables pueden vivir indefinidamente. Se reproducen por semilla y en muchas ocasiones vegetativamente mediante estolones, tubérculos, rizomas o bulbos. El zacate Johnson [*Sorghum halepense* (L.) Pers.] y la oreja de ratón (*Convolvulus arvensis* L.), son ejemplos de especies perennes [22].

2.2.7 Principales malezas en sorgo

En la **Tabla 2.1**, se muestran las principales malezas que afectan el cultivo del sorgo.

Tabla 2.1. Principales malezas en sorgo [11].

HOJA ANCHA				
Nombre Común	Nombre Científico	Familia	Hábito	Ciclo
Correhuela anual	<i>Ipomoea trichocarpa</i> L.	Convolvulaceae	R-T	P
Correhuela anual	<i>Ipomoea hederacea</i> (L.) Jacq	Convolvulaceae	R-T	A
Quelite	<i>Amaranthus palmeri</i> L.	Amaranthaceae	E	A
Polocote	<i>Helianthus annuus</i> L.	Asteraceae	E	A
Trompillo	<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	Solanaceae	E	P
Quelite apestoso, chual	<i>Chenopodium murale</i> L.	Chenopodiaceae	E	A
Meloncillo	<i>Cucumis melo</i> L.	Cucurbitaceae	R-T	A
Amargosa	<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	Asteraceae	E	A
Oreja de lobo	<i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Benth. & Hook.	Asteraceae	E	A
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Portulacaceae	R	A
Tomatillo	<i>Physalis angulata</i> L.	Solanaceae	E	A
Correhuela perenne	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Convolvulaceae	R-T	P
Borraja	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Asteraceae	E	A
Lengua de vaca	<i>Rumex crispus</i> L.	Asteraceae	E	P
Mostacilla	<i>Sisymbrium irio</i> L.	Cruciferae	E	A
ZACATES				
Nombre Común	Nombre Científico	Familia	Hábito	Ciclo
Johnson	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Gramineae	E	P
Espiga	<i>Panicum fasciculatum</i> Sw.	Gramineae	E	A
Lagunero	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	Gramineae	E	A
Toboso	<i>Panicum texanum</i> Buckl.	Gramineae	E	A
Guiador	<i>Panicum reptans</i> L.	Gramineae	E	A
Liendrilla	<i>Leptochloa filiformis</i> (Lam) Beauv.	Gramineae	E	A
Cadillo	<i>Cenchrus pauciflorus</i> Benth.	Gramineae	E	A
Gramilla	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Gramineae	R	P
CIPERACEAS				
Nombre Común	Nombre Científico	Familia	Hábito	Ciclo
Coquillo rojo	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae	E	P

Hábito: E=erecto, R=rastrero, T=trepador.

Ciclo: A=anual, P=perenne.

2.2.8 Trompillo (*Solanum elaeagnifolium* Cav.)

Es una planta herbácea, erecta y perenne que tiene fuertes y penetrantes rizomas que le permiten reproducirse por este medio además de la semilla [23].

Llega a medir hasta 1 m de alto, deteniendo su crecimiento en invierno, tiene un sistema extensivo de raíces que puede medir hasta dos metros de profundidad.

Los tallos son cilíndricos, escasamente ramificados, con unas cuantas espinas rojizas dispersas, herbácea excepto en la base. Las hojas son de color verde oscuro a verde grisáceo pálido, pecioladas, lanceoladas, obtusas o agudas en la punta, redondeadas o truncadas en la base, con márgenes enteros u ondulados. Las hojas, los tallos y el cáliz son densamente pubescentes, dando a la planta su típica apariencia verde-plateado (**Figura 2.7**). El follaje está cubierto de pelos en forma de estrella. Espinas de color amarillo a café generalmente ocurren en los tallos y también las principales venas de las hojas [24].

Las flores se presentan de marzo a octubre y se encuentran dispuestas en el ápice de los tallos. El fruto es una baya de color amarillo o pardo oscuro que mide de 8 a 15 mm de diámetro. Las semillas son numerosas de color café pálido y miden de 3 a 4 mm de largo. Esta hierba se encuentra ampliamente distribuida en los terrenos de esta región y se presenta en infestaciones ligeras a regulares en cualquier época del año [23].

En el 2010 investigadores de Estados Unidos reportaron que el trompillo, es una maleza invasora de América que se había extendido al sur de Europa, África, India, Australia y otras áreas; en el 2011 la FAO informó que en Siria e Iraq el trompillo había invadido hasta el 60 % de la superficie agrícola de algodón y trigo, además se estaba propagando a los olivares y temen pronto invada otras tierras cultivadas, por lo que se intervino con ayuda a los agricultores para su control [25].



Figura 2.7. Trompillo [30].

El trompillo puede ser una maleza dañina en muchos cultivos, pero también es un componente atractivo de la vegetación de orillas de carretera en las regiones áridas del país.

Se ha registrado en Aguascalientes, Baja California Norte, Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas [24].

Por las características del trompillo, en diversos países se le considera una planta nociva, puesto que raíces de menos de 1 cm pueden regenerarse y dar origen a nuevas plantas que compiten con los cultivos por espacio, luz, agua, nutrientes, bióxido de carbono, e interfieren en la cosecha, hospedan plagas y enfermedades, además de que son difíciles de erradicar. Otro efecto nocivo de esta maleza es

sobre los humanos, causando alergias por el polen que liberan. El costo para su control, normalmente representa hasta un 10% de los costos de producción. Por otra parte, las bayas o frutos del trompillo contienen el glicoalcaloide solanina, que es tóxico-venenosa para el ganado bovino y ovino [25].

2.2.9 Control de malezas en sorgo

Existen varios métodos de control de los cuales podemos mencionar el mecánico, competencia del cultivo y químico. El mejor método incluye la combinación de al menos dos, a lo que se denomina control integrado de malezas [26].

- **Control Mecánico:** El control mecánico de maleza en sorgo se inicia con la preparación de la cama de siembra. La labranza primaria se realiza por medio de arado de discos, subsuelo o bordeadores y posteriormente, la labranza secundaria se efectúa con pasos de rastra. Con estas prácticas se elimina a la maleza establecida y en germinación, lo que evita que se incremente el banco de semillas en el suelo durante el ciclo en descanso. Sin embargo, la mayoría de las especies de maleza están adaptadas a este disturbio del suelo y entran en latencia al ubicarse en sitios profundos del suelo. El sistema de siembra en húmedo o a "tierra venida" elimina la primera generación de maleza y permite establecer el sorgo en suelo "limpio". Posteriormente, el paso de escardas con cultivadora rotativa o de picos elimina a la maleza, ayudan al "aporque" del sorgo y facilitan la conducción del agua de riego. El número y época de las escardas depende de factores tales como: presencia de maleza, humedad del suelo y disponibilidad de equipo. El paso de dos escardas o cultivos de los 15 a 20 y 25 a 35 días después de la emergencia del sorgo son una práctica común en el noreste de México. Es importante señalar que cuando se lleva a cabo oportunamente, el control de maleza por medio de escardas es eficiente entre los surcos, pero las malas hierbas que se establecen en la hilera de plantas del cultivo no son controladas por este medio [11].
Este método funciona bien en malezas que se reproducen con semilla, pero no es efectivo con malezas con rizomas o tubérculos (reproducción

asexual), debido a que son capaces de brotar a profundidades de hasta 50cm. En algunas ocasiones se exponen los rizomas o tubérculos al sol, frío o deshidratación con altas temperaturas, en este caso se utiliza el arado. Un control utilizado para el zacate Johnson, es exponer los rizomas con el uso del arado y posteriormente introducir ganado vacuno para que se alimenten los rizomas.

- **Competencia entre el cultivo y maleza:** El establecimiento del cultivo en óptimas condiciones de temperatura del suelo, humedad, profundidad de siembra, fertilidad, entre otras son importantes para que pueda superar el crecimiento de las malezas. Si no logramos esto, el desarrollo y rendimiento del cultivo puede ser ligeramente o severamente afectado. Este método poco utilizado es el más económico y más efectivo en la práctica. Existen varias formas de llevarlo a cabo por ejemplo:
 - **Fechas de siembra:** Al adelantar las fechas de siembra bajo invernadero podemos producir plántulas que se trasplantan en fechas tempranas (suelo frío), con esto, lleva ventaja el cultivo contra las malezas que su germinación inicia al incrementar las temperaturas en el suelo.
 - **Cultivos de crecimiento rápido y frondoso:** existen cultivos tales como la calabacita cuyo crecimiento es muy rápido por lo que le permite competir con las malezas, en cambio el chile con crecimiento es muy lento, su posibilidad de competir con malezas es menor.
 - **Densidad de siembra o trasplante:** entre mayor densidad de siembra del cultivo mayor competencia contra las malezas[26].
- **Control químico:** En este control se hace uso de herbicidas para eliminar las malezas.

2.2.10 Control químico de maleza en sorgo

El control químico de maleza mediante el uso de herbicidas en sorgo ha tenido un gran auge en los últimos años en el noreste de México, ya que los herbicidas tienen la ventaja de eliminar a la maleza en grandes extensiones de una manera

eficiente, rápida y económica (**Figura 2.8**). Sin embargo, para evitar problemas de selectividad al sorgo o fallas en el control de maleza, el control químico requiere de conocimientos técnicos para la elección y aplicación eficiente y oportuna de los herbicidas y debe efectuarse sólo cuando los otros métodos de control no son factibles de utilizarse o cuando su uso representa una ventaja económica para el productor. La aplicación de herbicidas está plenamente justificada dentro del manejo integrado de maleza, cuando el control mecánico y/o cultural, no son suficientes para eliminar eficientemente las infestaciones altas de especies anuales o cuando se presentan especies de maleza perennes [11].



Figura 2.8. Sorgo con y sin control químico de maleza [23].

En los sistemas convencionales, los herbicidas se emplean en las ventanas de intervención en pre-siembra, pre-emergencia y post-emergencia temprana. En los sistemas de labranza reducida y siembra directa las diversas ventanas de intervención requieren el empleo de diversas clases de herbicidas, desde herbicidas totales de contacto y mezclas de hormonales y otros activos de acción residual [27].

La elección del herbicida más apropiado depende principalmente de su espectro de control de maleza, características químicas del producto y costo [11].

2.2.11 Clasificación de herbicidas

Los herbicidas pueden clasificarse de distintas maneras, las cuales se pueden dividir en tres tipos:

1. Por su acción sobre la planta

- **Selectivos:** son aquellos que no afectan al cultivo y solo controlan las malezas; pueden a su vez actuar de acuerdo al tipo de hoja (selectivos de hoja ancha y selectivos de hoja angosta). Existen herbicidas selectivos para determinada especie, ejemplo, el Sencor para la papa o Clincher para arroz.
- **No selectivo:** son aquellos que no presentan selectividad para el cultivo, esto quiere decir que si se los aplican pueden matar al cultivo y a la maleza (Paraquat, Glifosato).

2. Por su modo de acción en las malezas

- **De contacto:** queman a la maleza sin ingresar al sistema y cuyo efecto es más rápido (Paraquat).
- **Sistémicos:** ingresan al sistema y generalmente causan trastornos fitohormonales (2-4 D amina, o 2-4 D éster).

3. Por el momento de aplicación

- **Pre-siembra:** se aplican antes de la siembra; generalmente son los no selectivos.
- **Pre-emergentes:** se los utiliza una vez que se ha sembrado el cultivo, pero antes que emerjan las plantas. En este grupo se encuentra el Diurón que tiene un carácter residual, para matar semillas.
- **Post-emergentes:** Normalmente se aplica por medio de aspersores que se encuentran en los aguilones de un tractor, se los utiliza con el cultivo establecido; son herbicidas de gran selectividad o se aplican en forma localizada en cultivos perennes (**Figura 2.9**) [13].

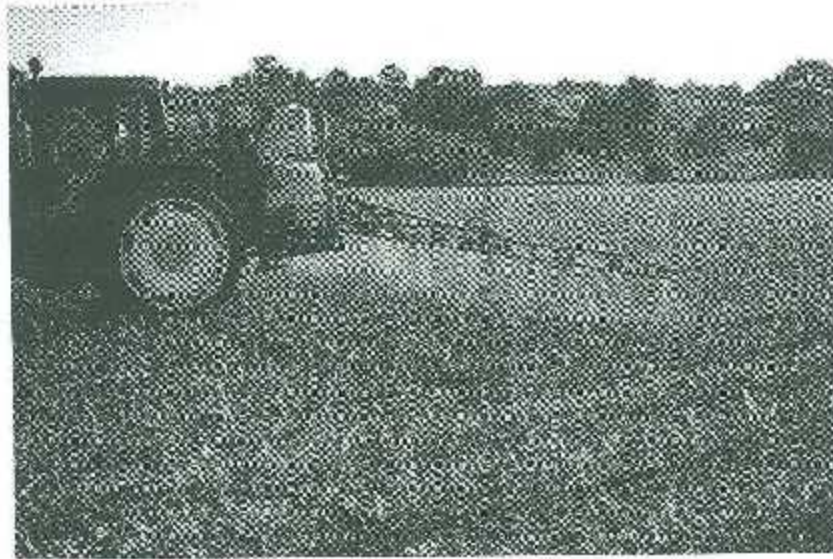


Figura 2.9. Aplicación de herbicidas en post emergencia [42].

2.2.12 Herbicidas para sorgo

Los herbicidas a continuación son los más comunes, esto quiere decir que puede haber una gran variedad de ellos.

- **Pre-siembra:**

Paraquat. Herbicida de contacto, no selectivo, que se aplica al follaje de las plantas, para el control de maleza anual antes de la siembra de sorgo. El paraquat causa una rápida clorosis y desecación de las plantas tratadas, efectos que pueden observarse en pocas horas cuando se aplica a plena luz del sol y la muerte del follaje ocurre en uno a tres días después de la aplicación. El paraquat es absorbido rápidamente por el follaje de las plantas, por lo que la presencia de lluvias media hora después del tratamiento no afecta la acción de este herbicida. Este herbicida destruye sólo las células y tejidos vegetales sobre las que se asperja.

- **Pre-emergencia:**

Metolaclor. Herbicida pre-emergente (PRE) que controla zacates anuales, maleza de hoja ancha de semilla pequeña, como quelite y verdolaga, y coquillo amarillo (*Cyperus esculentus* L.). Para utilizar este herbicida en

sorgo se requiere que la semilla sea tratada con un protector (comúnmente fluxofenim o Concep) para evitar sus daños. La forma más común de uso de metolaclor es su aplicación 30 días antes de la siembra o antes de la emergencia del sorgo y la maleza. Su modo de acción es la inhibición de síntesis de lípidos necesarios para la formación de tejidos en plántulas. La absorción del metolaclor ocurre principalmente por los brotes de las plántulas y en menor proporción por sus raíces. La mayoría de las malas hierbas susceptibles a metolaclor no llegan a emerger.

- **Post-emergencia:**

2,4-D amina. Herbicida de acción POST y sistémico, que se absorbe por las hojas y se transporta a toda la planta; controla maleza de hoja ancha anual y perenne. El 2,4-D amina se sugiere aplicar a 0.540 kg i.a/ha en sorgo de 15 a 30 cm de altura y sobre maleza menor a 15 cm. Esta dosis de 2,4-D se obtiene con 1.12 l de Agramina 480, Cuproamina, Estamine, Formula 48, Fullmina 480, Hierbamina, Machetazo 2000 o 0.56 kg de Navajo, Yugo o Sheriff. Es conveniente que cuando el sorgo tenga más de 20 cm de altura se utilice extensiones de la barra de aspersión para evitar asperjar directamente sobre el cogollo de las plantas de sorgo. No se debe aplicar 2,4-D amina a sorgo menor de 15 cm pues puede afectar el desarrollo del cultivo. La acción de este herbicida en la maleza es lenta y se caracteriza por el "retorcimiento" (epinastia) de las plantas de hoja ancha tratadas y su muerte se presenta alrededor de dos semanas después de la aplicación. Los síntomas más comunes de toxicidad de 2,4-D en sorgo son: curvatura de los tallos en su base, disminución en la cantidad de raíces y reducción de la altura de planta.

En la **Figura 2.9** se muestra los herbicidas de post-emergencia que se pueden aplicar en el sorgo dependiendo de su tamaño [11].

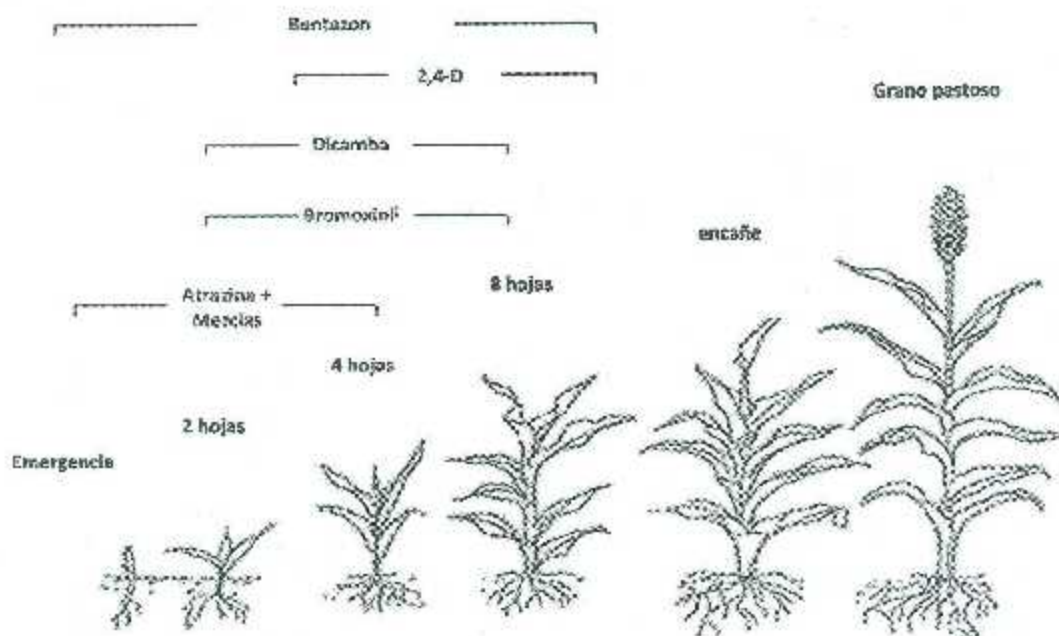


Figura 2.10. Herbicidas adecuados para diferentes etapas de desarrollo del sorgo [27].

2.2.13 Niveles de medición de fitotoxicidad

La European Weed Research Society da una escala para la medición de fitotoxicidad y control de maleza la cual se muestra en la **Tabla 2.2**.

2.2.14 Control de trompillo (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) en sorgo.

Para la maleza de hoja ancha se recomienda aplicar 2,4-D amina (DMA-4, Hicrbamina, Estaminc, Formula-40 y otros) a 1.12 l/ha o bien de 560 g/ha de la presentación sólida (Navajo, Yugo o Sheriff), cuando el sorgo tenga de 15 a 30 cm de altura y antes de que se encuentre en la fase de hoja bandera también conocido como "embuche" o "bota". Después de que el sorgo tenga 20 cm de altura se sugiere aplicar estos herbicidas con extensiones de la barra de aspersión para evitar asperjar el "cogollo" del sorgo y evitar la posibilidad de daños causados por estos herbicidas.

Tabla 2.2. Escala para medición de fitotoxicidad y control de maleza.

Número	Control de maleza (%)	Efecto sobre maleza	Fitotoxicidad al cultivo (%)	Efecto sobre cultivo
1	99.0-100.0	Muerte	0.0-1.0	Sin efecto
2	96.5-99.0	Muy buen control	1.0-3.5	Síntomas muy ligeros
3	93.0-96.5	Buen control	3.5-7.0	Síntomas ligeros
4	87.5-93.0	Control suficiente	7.0-12.5	Síntomas evidentes sin efecto en rendimiento
5	80.0-87.5	Control medio	12.5-20.0	Daño medio
6	70.0-80.0	Control regular	20.0-30.0	Daño elevado
7	50.0-70.0	Control pobre	30.0-50.0	Daño muy elevado
8	1.0-50.0	Control muy pobre	50.0-99.0	Daño severo
9	0.0-1.0	Sin efecto	99.0-100.0	Muerte

En el caso de existir lotes de algodón u otros cultivos de hoja ancha en las cercanías, no es conveniente usar el 2,4-D amina, ya que existe un alto riesgo de acarreo por viento. Una buena alternativa es el uso del herbicida Brominal-240 (bromoxinil) a 1.5 l/ha, aplicado cuando el sorgo tenga de 8 a 30 cm de altura y con maleza menor de 10 cm. La acción de este herbicida es de contacto por lo que se requiere un buen cubrimiento de la maleza. Se sugiere usar 200 litros de solución por hectárea a una presión de 30 a 40 lb/pul² y no añadir surfactante. Otra opción es la aplicación de prosulfuron (Peak 57 WG) a 38 g/ha cuando el

sorgo tenga de 12 a 45 cm y la maleza menos de 10 cm. Este herbicida requiere que se añada un surfactante no-iónico a 250 ml por cada 100 l de agua para mejorar su absorción y acción sobre la maleza. Con el fin de disminuir el costo del manejo de maleza de hoja ancha puede integrar la aplicación de los herbicidas POST en banda sobre la hilera del sorgo y el paso de dos escardas. En aplicaciones totales, se sugiere el paso de una escarda al cierre del cultivo [11].

Sin embargo, se han hecho estudios donde se demuestra que específicamente para el "trompillo" los herbicidas que mejor efecto tienen sobre el son el 2,4-D amina, dicamba y carfentrazone mezclado con 2,4-D. Pero estos herbicidas son también los que mayor efecto negativo (fitotoxicidad) tienen sobre el cultivo, todo esto se pueden ver en las siguientes tablas (*Tabla 2.3* y *Tabla 2.4*).

Tabla 2.3. Control de trompillo según el herbicida aplicado [21].

Tratamiento	Dosis (g ha ⁻¹)	Días después de la aplicación POST			
		15	30	45	60
		Control (%)			
Amicarbazone	750	0 d	4 de	4 de	0 d
Atrazina	750	0 d	7 de	7 de	0 d
Prosulfuron	17	7 d	10 de	12 de	2 d
Carfentrazone + 2,4-D	2.5 + 225	74 b	79 bc	80 bc	85 bc
2,4-D	720	74 b	85 b	85 b	90 b
Dicamba	144	66 b	70 c	73 c	82 c
Bromoxinil	480	29 c	15 d	12 de	5 d
Bentazona	960	29 c	5 de	5 de	2 d
Testigo con maleza		0 d	0 e	0 e	0 d
Testigo limpio		100 a	100 a	100 a	100 a

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)

Tabla 2.4. Fitotoxicidad del cultivo dependiendo de los diferentes tratamientos [21].

Tratamiento	Dosis (g ha ⁻¹)	Días después de la aplicación POST (2007)				Días después de la aplicación POST (2008)			
		15	30	45	60	15	30	45	60
		Fitotoxicidad (%)				Fitotoxicidad (%)			
Amicarbazone	750	0 e	0 d	0 d	0 d	0 c	0 d	0 c	0 d
Atrazina	750	0 e	0 d	0 d	0 d	0 c	0 d	0 c	0 d
Prosulfuron	17	11 e	5 c	7 c	0 d	5 b	0 d	0 c	0 d
Carfentrazone + 2,4-D	2.5 + 225	30 a	21 b	20 b	20 b	20 a	11 c	14 b	17 c
2,4-D	720	16 b	40 a	35 a	37 a	19 a	27 a	29 a	30 a
Dicamba	144	14 bc	20 b	7 c	7 c	16 a	20 b	16 b	21 b
Bromoxinil	480	5 d	2 cd	0 d	0 d	0 c	0 d	0 c	0 d
Bentazona	960	4 de	4 c	0 d	0 d	0 c	0 d	0 c	0 d
Testigo con maleza		0 e	0 d	0 d	0 d	0 c	0 d	0 c	0 d
Testigo limpio		0 e	0 d	0 d	0 d	0 c	0 d	0 c	0 d

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

2.3 AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La revolución tecnológica que a nuestra generación le ha tocado vivir es la que han provocado las llamadas "Tecnologías de la Información y la Comunicación" (TIC), lo que nos ha conducido a la "era digital" en la que nos encontramos.

Como ha ocurrido con anterioridad, la sociedad se está transformando como consecuencia de los avances tecnológicos. Surgen nuevas formas de relación, aparecen profesiones inimaginables hace unos años mientras que otras, o desaparecen, o incorporan enfoques muy distintos a los tradicionales. Ni la imprenta, la máquina de escribir o el uso de escuadras, reglas o compases de los delineantes tradicionales han sobrevivido a las TIC [28].

El término Agricultura de Precisión (AP) significa optimizar la calidad y cantidad de un producto agrícola, minimizando el costo a través del uso de tecnologías más eficientes para reducir la variabilidad de un proceso específico, en forma ambientalmente limpia. Tecnología de dosis variable y manejo sitio específico se utilizan genéricamente como sinónimos y consisten en la aplicación de dosis variables de insumos de acuerdo a las necesidades y/o potencial productivo de sectores homogéneos de la unidad de producción. Esto contrasta claramente con

el manejo tradicional, en donde los insumos son aplicados uniformemente a toda la unidad productiva [29].

La AP no es ni más ni menos que la consecuencia de la irrupción de las TIC en la agricultura, es decir, la manifestación de la era digital en la Producción Agraria [28].

Para el desarrollo de la AP se utilizan herramientas tecnológicas como los Sistemas de Posicionamiento Global, conocidos popularmente como GPS, sensores planta-clima-suelo e imágenes multiespectrales obtenidas a partir de satélites y aviones. Los datos captados por todos estos sensores se almacenan digitalmente en forma de tablas y mapas, a partir de los cuales se genera la información que ayuda al agricultor en la toma de decisiones en campo (fertirrigación, podas o aclareos). El objetivo último de la Agricultura de precisión es la obtención de mayores rendimientos económicos, medioambientales y sociales, aumentando la competitividad a través de una mayor eficacia en las prácticas agrícolas [30].

Nuevamente los agricultores han de familiarizarse con las herramientas de la época: teclados, pantallas, selección en opciones de menú..., así como conocer las tecnologías que se ponen a su disposición para conseguir una producción agraria con la que alimentar a una población mundial de siete mil millones de personas y en crecimiento, con las restricciones que la seguridad en la sanidad alimentaria, la conservación de los recursos naturales y las leyes de la economía de mercado imponen [28].

2.3.1 Aspectos generales de agricultura de precisión

En el término Agricultura de Precisión se engloban una serie de tecnologías de aplicación en la producción agraria, que tienen como factor común el uso de las TIC en la racionalización de la toma de decisiones y su precisa ejecución.

Cualquier tarea que forme parte de las operaciones necesarias para la implantación, desarrollo y explotación de un cultivo es susceptible de ser realizado haciendo uso de alguna de las técnicas que integran la AP.

Desde sus inicios en los años 90 del siglo XX, la AP ha ido incorporando nuevos métodos y respondiendo a problemas diferentes, lo que ha hecho que su definición haya ido evolucionando de acuerdo con su carácter dinámico, propio de las nuevas tecnologías.

Las técnicas de AP se pueden clasificar en dos grandes apartados atendiendo al objetivo principal que se persigue con ellas:

1. Técnicas orientadas a la gestión de la variabilidad espacial de las propiedades de los suelos y estado de los cultivos.
2. Técnicas orientadas a la ayuda al guiado y a la uniformidad de las operaciones mecanizadas [28].

2.3.2 Ciclo y etapas de la Agricultura de Precisión

Los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de agricultura de precisión suelen dividir este conjunto de tecnologías en tres etapas diferentes (**Figura 2.11**):

1. Recolección de datos (monitoreo de cultivo y suelo, mapas de producción).
2. Procesamiento e interpretación de la información (análisis).
3. Aplicación de insumos (manejo variable).

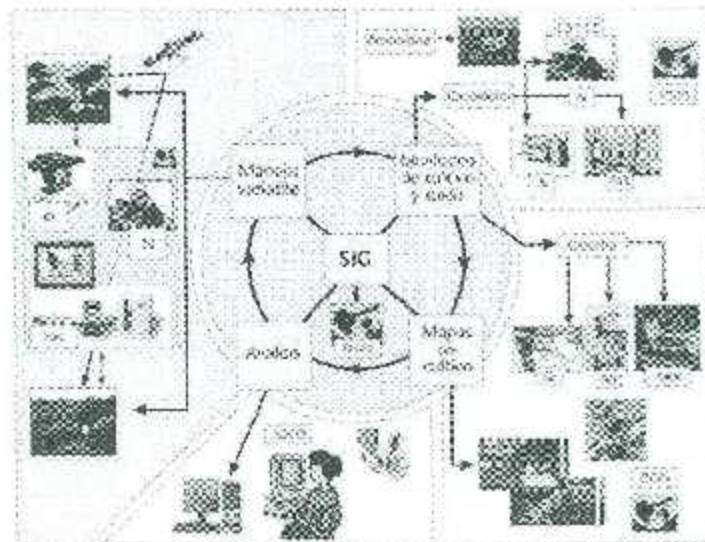


Figura 2.11. Ciclo de la Agricultura de Precisión [33].

En base a ello, se define un ciclo de prácticas agrícolas orientado a sustituir la recomendación habitual de insumos en base a valores promedio, como ocurre en la agricultura tradicional, por una más precisa, con manejo localizado, considerando las variaciones del rendimiento en toda el área. Es una optimización del uso de los insumos porque deposita en el suelo la cantidad de semilla que cada punto soporta, la cantidad de nutrientes y agua requerida, y además el control de malezas, plagas y enfermedades se hace solamente en los puntos que demanden tal control [29].

2.3.3 Ejemplos de Agricultura de Precisión

- **Tecnología de riego variable**

La alta variabilidad espacial en las condiciones físicas del suelo se traduce en una des-uniformidad del agua de riego aplicada en el predio. Este problema generalmente no es considerado tanto para el diseño de nuevas obras de riego (aspersión, goteo y riego superficial) sino en las ya existentes. Dicha ineficiencia en la aplicación del agua de riego finalmente conlleva a pérdidas de fertilizante nitrogenado y posterior contaminación de los acuíferos subterráneos por lixiviación. El conocimiento de áreas uniformes en propiedades físicas y el uso de modelos computacionales, permiten un mejor manejo del recurso hídrico, con un aumento de la eficiencia de uso, tanto del agua como de fertilizantes nitrogenados, protegiendo así las aguas subterráneas de contaminantes. Información de variabilidad sobre la cual se asociarán los cambios en propiedades físicas (textura, velocidad de infiltración, capacidad de retención, etc.) es de alta relevancia para la sectorización de zonas de producción que permitan evaluar o modificar el uso de sistemas de riego.

- **Monitoreo de siembra de precisión**

Estos equipos poseen una serie de sensores que permiten monitorear las caídas de fertilizantes y semillas para evitar taponamientos o mala dosificación de insumos.

Por otra parte, este tipo de sensores también pueden ser utilizados en conjunto con cajas reductoras para el control de siembra y fertilización

variable. Estas últimas, responden a las variaciones de diagnóstico agronómico geo-posicionado dentro de un potrero, así como a prescripciones de diferentes densidades de siembra (también pueden ser incluidos los fertilizantes asociados), o sea que, una vez cargado el mapa de prescripción del potrero, se pueden establecer en el potrero diferentes sitios de rendimientos potenciales. Ya cargadas las prescripciones de semilla y fertilizantes para cada sitio (mapas) y calibrada la sembradora; la máquina al ser posicionada por señal de GPS o DGPS (GPS Diferencial o sub-métrico) realiza la aplicación variable de acuerdo a la prescripción [31].

2.3.4 Futuro de la agricultura de precisión en México

Según expertos México tiene un gran futuro en el uso de las TICs en la agricultura debido a las siguientes siete razones:

1. Las necesidades de los trabajadores del campo mexicano son muchas

Existen 5.3 millones de trabajadores del campo en México de los cuales 3.9 ganan 1000 dólares al año aproximadamente, 61% viven en la pobreza. Esto es debido a la poca conexión que hay con el mercado, baja producción y acceso limitado a financiamiento.

2. Los agricultores deben tener acceso a la información y conocimiento de calidad

De acuerdo a SAGARPA, el conocimiento, la investigación y el desarrollo tecnológico no han sido totalmente traducido en innovaciones para aumentar la productividad en la industria alimentaria, ya que no están vinculados efectivamente con las demandas y necesidades de los agricultores."

3. El impacto de las TIC para la agricultura ha sido probado

El acceso de los agricultores a la información puede ayudarles a poner un precio justo por sus productos, para conectarse a nuevos compradores, obtener actualizaciones en tiempo, y tener acceso a los servicios financieros. Los agricultores también podrían tener acceso a las nuevas técnicas de cultivo para aumentar su productividad y mejorar la calidad de sus productos.

4. Buenas conexiones en zonas rurales

60 por ciento de las personas que viven en zonas rurales tiene acceso a un teléfono móvil en México, la mayoría de ellos que son los teléfonos móviles básicos. De acuerdo con la GSMA, a finales de 2015 el 36 por ciento de la población mexicana se había suscrito a los servicios de banda ancha móvil (3G y superiores), por encima del siete por ciento en 2010.

5. Alta alfabetización

México tiene una tasa de alfabetización del 93 por ciento, y la gran mayoría de los mexicanos hablan y leen español.

6. Investigación de calidad disponible para el desarrollo de contenidos

México cuenta con reconocidas universidades y centros de investigación que pueden ser de gran ayuda en el desarrollo de contenidos de alta calidad para los agricultores.

7. Una naciente y activa comunidad 'TIC para la agricultura'

En México hay varias otras iniciativas de TIC que han surgido para proporcionar información de calidad y conocimientos a los agricultores. Por ejemplo, la SAGARPA y la Secretaría de Economía han establecido un número de teléfono para dar a los agricultores el acceso a la información sobre los precios de mercado. Además, la SAGARPA ha publicado recientemente tres aplicaciones móviles para los agricultores: "Sagarpa Apoyos", "Producto Sagarpa" y "Sagarpa Mercados", cuyos objetivos son conectar a los agricultores con los compradores, les ayudan con sus cultivos, y proporcionar información sobre los programas de la SAGARPA [32].

2.4 PROCESAMIENTO DE IMAGEN

2.4.1 Color

Aunque el color es una de las características más importantes que definen a los objetos, hasta hace poco tiempo se le prestaba poca atención debido al costo computacional y a la memoria necesaria para procesar imágenes en color. Con el desarrollo del hardware esto ha cambiado. Algunas definiciones básicas para comprender los espacios de colores son:

- Tono: sensación que indica si un área parece similar al rojo, amarillo, verde o azul o a una proporción de dos de ellos.
- Brillo: Se entiende como la capacidad de un color para reflejar la luz blanca que incide en él. Alude a la claridad u oscuridad de un tono.
- Coloración: sensación por la que un área tiene un mayor o menor tono.
- Luminosidad: Luminosidad es el grado de claridad u oscuridad de un color.
- Saturación: se refiere a la pureza de un color.

2.4.2 Espacio RGB

El espacio RGB se basa en la combinación de tres señales de luminancia cromática distinta: el rojo, el verde y el azul (Red, Green, Blue). La manera más sencilla e intuitiva de conseguir un color concreto es determinar la cantidad de color rojo, verde y azul que se necesita combinar; para ello se realiza la suma aritmética de las componentes:

$$X = R + G + B$$

Gráficamente se representa por un cubo (**Figura 2.12**). En la recta que une el origen con el valor máximo se encuentran los grises, ya que las tres componentes son iguales. Como se ha comentado con anterioridad, cuando una cámara adquiere una imagen en color, para cada pixel en color se tienen en realidad tres, uno por cada componente; la ganancia máxima de cada uno de ellos corresponde a la longitud de onda de los tres colores básicos antes nombrados (rojo, verde y azul). Aunque el sistema RGB es el más intuitivo de todos y de hecho es en el que se basan las cámaras para adquirir imágenes en color, presenta un serio

Inconveniente: en sus tres valores mezcla la información del color (tono y saturación) y la intensidad.

Por conveniencia los colores se han normalizado de forma que el cubo de la sca unitario. Es decir todos los valores de R, G y B están en el intervalo $[0,1]$. En el caso de imágenes digitales los valores de R, G y B son números enteros y van de 0 a 255, lo cual permite generar más de 16×10^6 colores [33], [34].

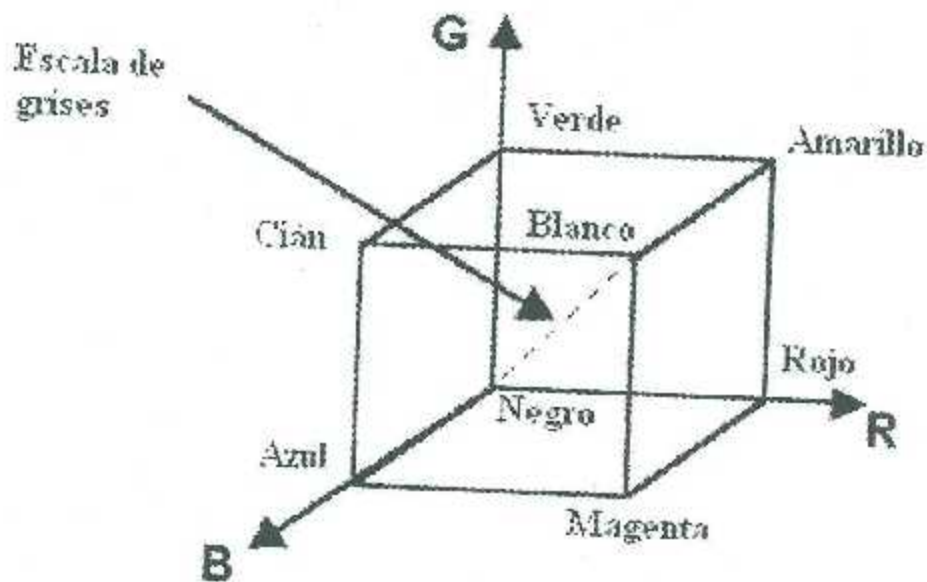


Figura 2.12. Cubo RGB [38].

2.4.3 Espacio HSI

En el modelo de color HSI los colores se distinguen unos de otros por su tono, intensidad, y saturación.

El tono está asociado con la longitud de onda dominante en una mezcla de ondas luminosas. Así, el tono representa el color dominante tal y como lo percibimos; cuando decimos que un objeto es rojo, verde o café estamos indicando su tono.

La intensidad representa la iluminación percibida. La intensidad da la sensación de que algún objeto refleja más o menos luz. Este atributo lo podemos ver claramente en un televisor en blanco y negro.

La saturación se refiere a la cantidad de luz blanca mezclada con el color dominante. La saturación es un atributo que nos diferencia un color intenso de uno pálido. Cada uno de los colores primarios tiene su mayor valor de saturación antes de ser mezclados con otros. Así, el azul cielo es muy claro (menos saturado), mientras que el azul marino es más opaco (mas saturado). Otro ejemplo, es el color rosa (rojo y blanco) que esta menos saturado, mientras que el color rojo está totalmente saturado [35].

Así como el espacio RGB se representa por un cubo, el HSI lo forman dos pirámides unidas por su base (**Figura 2.14**). Dependiendo de la intensidad se tiene un corte a los conos. Dentro de la circunferencia obtenida el color viene definido por su orientación (el rojo es 0° , el verde 120° y el azul 240°) y la saturación indica la lejanía del centro del círculo. Variaciones de este espacio de color son:

- HSL (Hue Saturation Lightness), (**Figura 2.13 a**).
- HSV (Hue Saturation Value), (**Figura 2.13 b**).
- HCl (Hue Chroma / Colourfulness Lightness).
- HVC (Hue Value Chroma).
- TSD (Hue Saturation Darkness) [34].

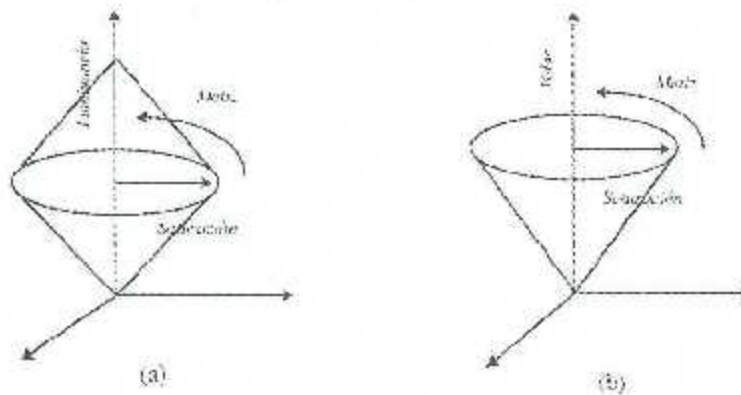


Figura 2.13. a) Espacio HSL, b) Espacio HSV [39].

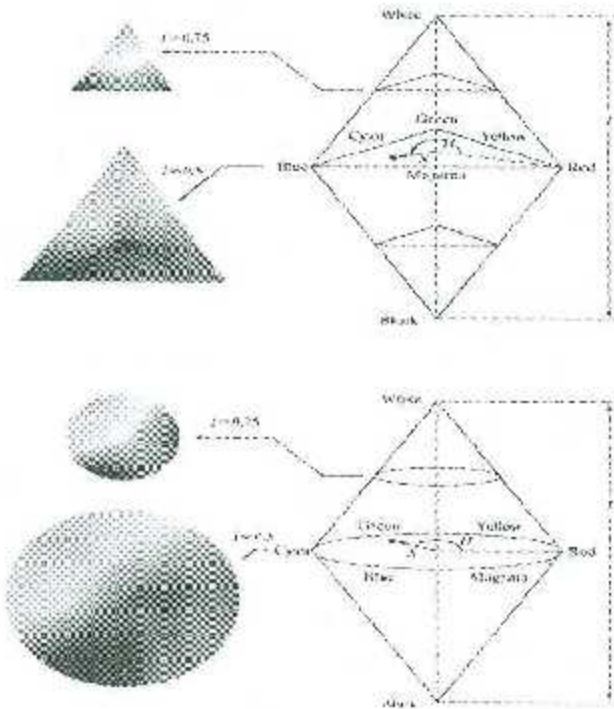


Figura 2.14. Espacio HSI [40].

2.4.4 Conversiones

Las ecuaciones que permiten la transformación de RGB a HSI son las siguientes [34]:

$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

$$H = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{1}{2} |(R - G) + (R - B)|}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right)$$

Si $B > G$, entonces $H > 180$. Para este caso hacemos $H = 360 - H$

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I}$$

Para el caso del HSV [36]:

Si $\max(R, G, B) \neq 0$ entonces $S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)}$ si no $S = 0$

Para V se tiene $V = \max(R, G, B)$

2.4.5 Erosión

La idea básica de la erosión es como la erosión del suelo, erosiona los límites de los objetos. Entonces, ¿en imágenes que es lo que hace?, el kernel se desplaza por toda la imagen, cualquier pixel de la imagen será considerado como un 1 si todos los pixeles del kernel son 1, en caso contrario se hace 0.

Entonces, lo que pasa, es que todos los pixeles cercanos a la orilla serán eliminados dependiendo del tamaño del kernel, así que el grosor de los objetos se verá reducido. Esto es útil para la eliminación de pequeños ruidos.

En la **Figura 2.15** se puede apreciar un ejemplo de erosión.

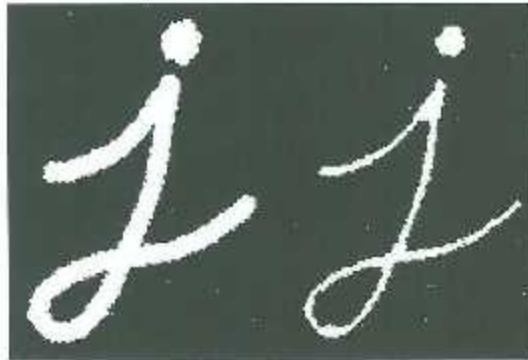


Figura 2.15. Imagen original a la izquierda, imagen erosionada a la derecha.

2.4.6 Dilatación

La dilatación es lo contrario a la erosión, aquí un pixel se convertirá en 1 si al menos un pixel del kernel es 1. En este caso el grosor del objeto aumenta. Normalmente cuando se elimina ruido también se adelgazan los objetos que se están analizando, esto quiere decir que después de una erosión, se aplica una dilatación al objeto con tal de regresarlo a su estado normal [37].

En la **Figura 2.16** se muestra un ejemplo de dilatación de objetos.



Figura 2.16. Imagen original a la izquierda, imagen dilatada a la derecha [41].

Capítulo 3. METODOLOGÍA.

En esta sección se describirán detalladamente algunas de las actividades que se realizaron durante este proyecto, e incluidas en el cronograma.

3.1 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL.

En esta sección se investigó todo lo relacionado al proyecto, por ejemplo, todo lo relacionado a la agricultura, características del sorgo, malezas y herbicidas.

Así como lo relacionado a programación, librerías de visión por computadora, ejemplos y prácticas de visión artificial etc.

3.2 ELECCIÓN Y ADQUISICIÓN DE SOFTWARE Y HARDWARE A UTILIZAR.

Una de las características principales del *software* utilizado por la cual fueron elegidos es que son de licencia abierta (excepto el sistema operativo utilizado), por lo tanto, se tienen menos problemas respecto al uso de licencias de ellos, además de que en calidad son muy parecidos a los comerciales, este software es:

El sistema operativo en que se diseñó la aplicación fue Windows, en su versión: Windows 8.1 Single Language.

Para la programación se utilizó Python, que es un lenguaje orientado a objetos, en el cual se pueden crear aplicaciones para distintos sistemas operativos, servidores de red, páginas web, etc. Se pueden utilizar distintos tipos de librerías dependiendo de lo que se quiera realizar, es más sencillo de programar que otros lenguajes y además se utilizan menos líneas de código. Es gratuito incluso para propósitos comerciales. La versión utilizada fue la "2.7.13".

Para el procesamiento de imágenes se utilizó la librería OpenCV, la cual está liberada bajo una licencia BSD y por lo tanto está libre tanto para uso académico como comercial. Tiene interfaces de C ++, C, Python y Java y es compatible con Windows, Linux, Mac OS, iOS y Android. OpenCV fue diseñado para la eficiencia

computacional y con un fuerte enfoque en aplicaciones en tiempo real [38]. La versión de esta librería es la "3.0.0-rc1".

Algunas otras librerías que se tuvieron que importar para diseñar el programa en Python fueron: NumPy (1.12.0) [39], PyQt4 (4.11.4) [40], PyOWM (2.6.0) , serial (3.2.1).

Para la programación de Arduino se utilizó el software propio de la empresa, llamado "Arduino IDE".

La circuitería (*hardware*) utilizada fue:

Una computadora Acer- Aspire E14, 8 Gb de memoria RAM, procesador Intel® Core™ i7-5500U CPU @ 2.40GHz, sistema operativo de 64 bits, Intel® HD Graphics 5500.

La cámara utilizada fue la Logitech HD PRO WEBCAM C920.

La placa Arduino fue la Mega 2560 R3.

3.3 VINCULACIÓN CON EL SECTOR AGRÍCOLA.

Para la realización de este trabajo se tuvo que buscar vinculación con un agricultor el cual se dedicara a la producción de sorgo. Las parcelas se encuentran en el Ejido La Luz (25° 44' 46" N, 102° 56' 32" W), San Pedro de las Colonias, Coahuila de Zaragoza (**Figura 3.1**).

En el lapso de tiempo de septiembre de 2016 a mediados de marzo de 2017 no se tuvo ningún cultivo sembrado, debido a los tiempos de trabajo y actividades que ellos realizan. En estas parcelas se sembró sorgo escobero el día 6 de abril del 2017, a las tierras se les había dado un riego de aniego el 24 de marzo del 2017

En este paso se hizo la observación, por parte de la gente dedicada a la agricultura, que el color del trompillo podría variar dependiendo de varios factores, entre ellos, la etapa de crecimiento en que se encuentra, si está rodeado de cultivo y la humedad del suelo.

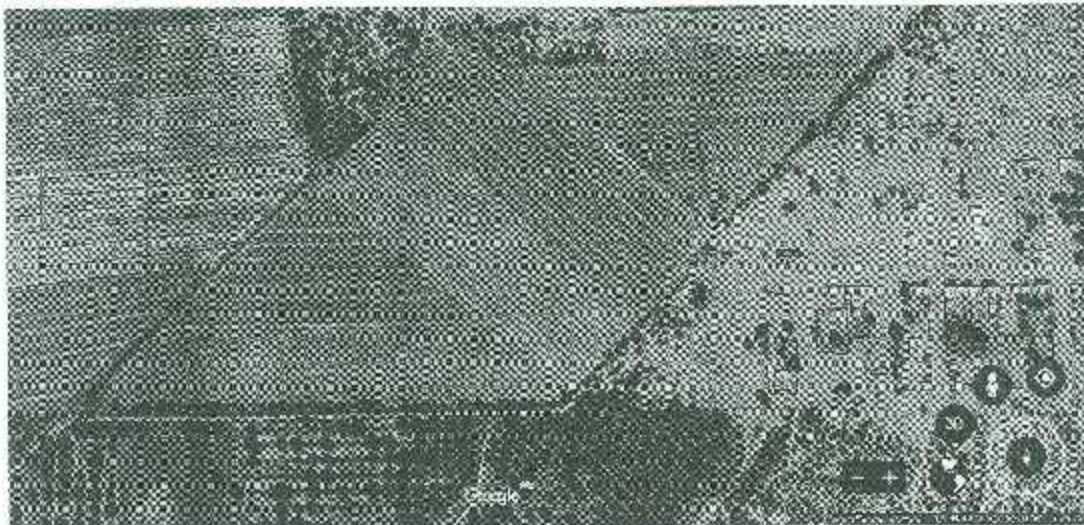


Figura 3.1. Vista aérea de la parcela.

3.4 TOMA DE DATOS, FOTOGRAFÍAS, VIDEOS, ETC., PARA CREACIÓN DE SISTEMA.

Teniendo en cuenta que las características del trompillo podrían variar, se grabaron varios videos en las zonas sin cultivo presente. Esto se hizo con la intención de practicar la programación del sistema, probar si es viable el método de procesamiento de la imagen elegido, mejorar la técnica en cuanto la obtención de las características del trompillo, hacer pruebas con estos videos, etc.

Se grabaron 25 videos de aproximadamente 1 minuto de duración cada uno, esto se realizó en la primer semana de octubre y la primera de febrero.

Los videos se grabaron a una altura de un metro, a la velocidad promedio de un ser humano caminando (5 km/h).

3.5 OBTENCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE MALEZA.

Este punto funciona solamente para la detección de malezas en post-emergencia.

Se obtienen los valores correspondientes para cada canal del espacio HSV con los que cuentan las hojas del trompillo, dicho proceso se realiza de la siguiente manera.

Se creó un programa en Python, el cual pueda reproducir los videos y mostrarlos en una ventana, en el programa se incluyó una subrutina en la cual al momento de

dar doble clic sobre la pantalla se guarde el frame que se está desplegando, esto con la finalidad de poder obtener mucho más fácil las imágenes del video.

En la **Figura 3.2** se muestra parte de ese proceso para obtener los frames y como saber si han sido guardados, en esta imagen se tiene un trompillo y otras hojas colocadas intencionalmente para hacer la comparación entre hojas de una planta y otra.

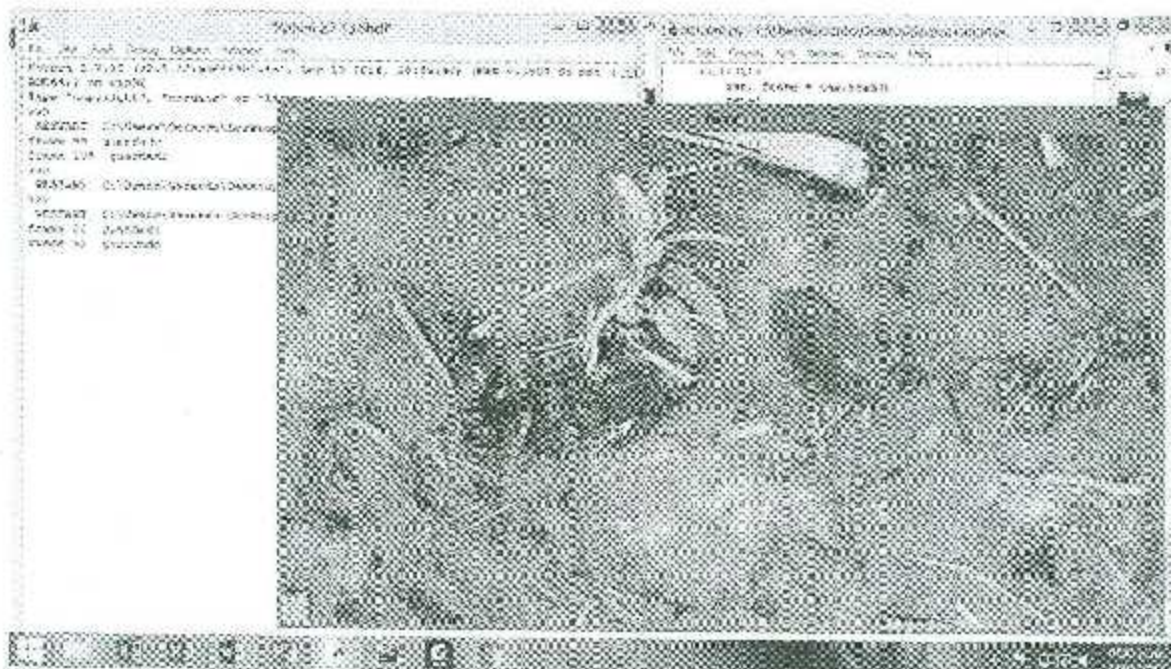


Figura 3.2. Obtención de frames

Las imágenes obtenidas se recortan, dejando solo las partes en donde se encuentran plantas (**Figura 3.3, Figura 3.4**). Esto se hace para facilitar más el paso siguiente.

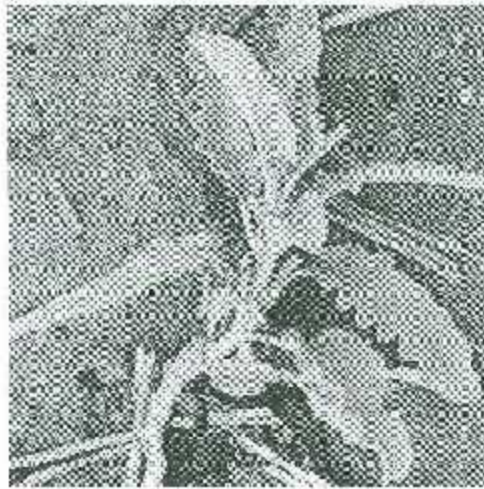


Figura 3.3. Imagen recortada del trompillo.



Figura 3.4. Imagen recortada de una hoja.

Posteriormente de cada imagen se recorta un trozo (**Figura 3.5**), el cual pertenece a una pequeña parte de la hoja.

No se tuvo una medida específica para estos pequeños recuadros, ya que debido a la forma de las hojas en ocasiones no se podían obtener siempre de la misma medida.

Inicialmente se obtuvieron más de 40 muestras, pero al ser todas muy parecidas en características, se utilizaron los valores de diez de ellas para programar el sistema.

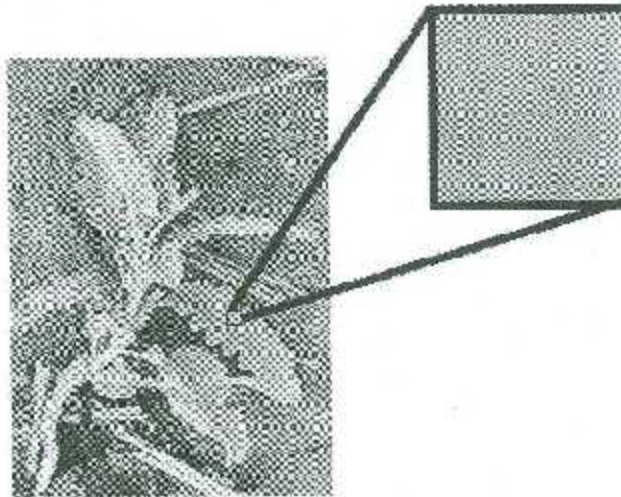


Figura 3.5. Sección recortada de la hoja de trompillo.

Después, cada pequeña imagen se procesa con un programa también creado en Python. En este programa primero se convierte la imagen del espacio RGB al HSV.

Esto se hace con la instrucción "cv2.COLOR_BGR2HSV" (en OpenCV el espacio de color RGB se escribe como BGR), para que se aprecie mejor, en la **Figura 3.6** se muestra como luce la conversión de la imagen completa junto con el recuadro recortado.

```
img = cv2.imread('img1.jpg', cv2.IMREAD_COLOR)  
img = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
```

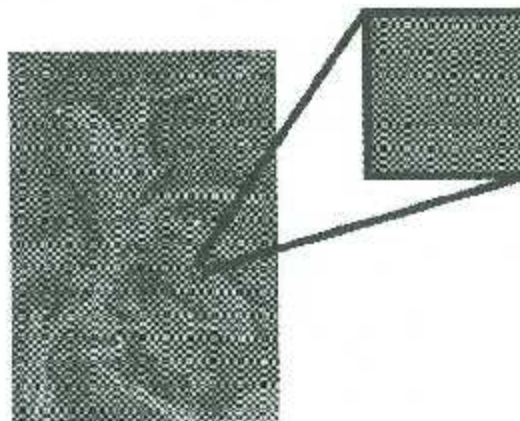


Figura 3.6. Conversión a HSV.

Se puede obtener el histograma de la conversión a HSV, en el podremos observar cuantos pixeles se encuentran en determinados valores de cada canal. En la **Figura 3.7** se muestra uno de ellos, la línea roja corresponde al canal H, la verde para S y la azul para V.

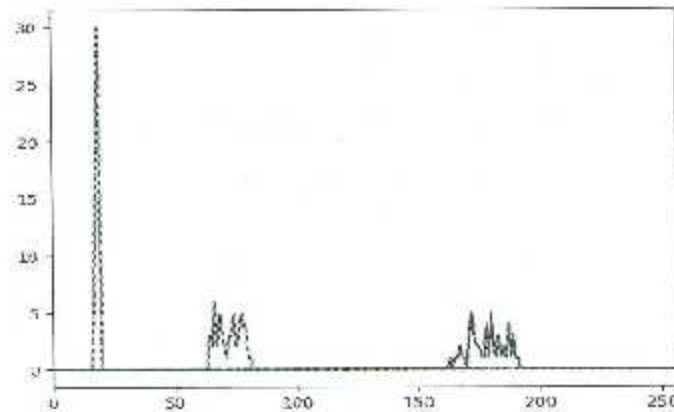


Figura 3.7. Histograma HSV de la imagen.

De este histograma se pueden obtener manualmente los máximos y mínimos para cada canal de la prueba, pero para hacer más fácil el proceso, la imagen se descompone en sus tres componentes como se muestra a continuación (**Figura 3.8**):

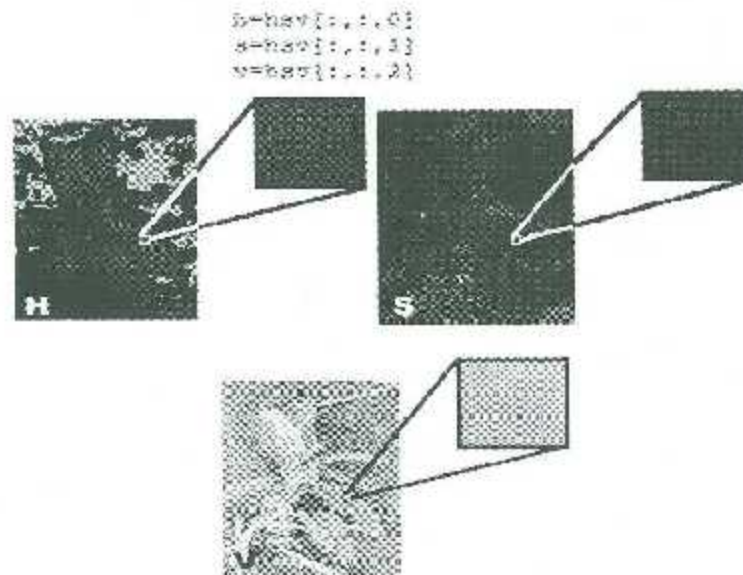


Figura 3.8. Código para separación de los diferentes canales y su imagen correspondiente.

Al estar la imagen separada en sus tres canales, se obtienen el máximo y mínimo para cada canal de la prueba con las siguientes líneas de código que se muestran en la **Figura 3.9**.

```

getRed ('h:', 'max:', np.max(R), 'min:', np.min(R))
getRed ('h:', 'max:', np.max(B), 'min:', np.min(B))
getRed ('h:', 'max:', np.max(V), 'min:', np.min(V))

```



```

{'h:', 'max:', 29, 'min:', 17}
{'s:', 'max:', 81, 'min:', 60}
{'v:', 'max:', 191, 'min:', 163}

```

Figura 3.9. Código y obtención de valores para HSV.

Después de esto, todos los valores obtenidos se registran en tres tablas, una para cada canal del espacio de color. En cada tabla se escriben los valores que se obtuvieron para los distintos tipos de hojas (**Tabla 3.1**).

Tabla 3.1. Valores obtenidos para HSV.

H		S		V	
Maleza	Hoja de árbol	Maleza	Hoja de árbol	Maleza	Hoja de árbol
20	29	84	153	186	105
18	20	71	123	158	74
19	25	81	124	191	133
17	23	64	86	163	97
20	27	84	141	188	98
17	24	63	122	155	79
20	26	78	124	177	107
23	21	51	96	147	94
20	26	72	86	198	114
16	22	59	115	165	86
19	29	74	121	191	141
16	26	51	77	131	102
16	26	81	94	206	114
15	24	56	79	139	95
16	28	75	123	209	125
14	27	51	84	143	95
20	22	78	98	166	130
17	20	63	75	143	105
20	28	77	107	176	165
13	23	59	60	140	93

Con esta tabla se crean gráficas para poder obtener más fácilmente los valores finales que se utilizarán para la detección de la maleza. En ellas se puede distinguir que la maleza se puede separar muy bien del fondo y de otras plantas. La obtención de las características de las plantas cercanas a la maleza ayuda a poder encontrar los valores que comparten entre si y así poder elegir mejor el rango de valores para hacer una correcta detección.

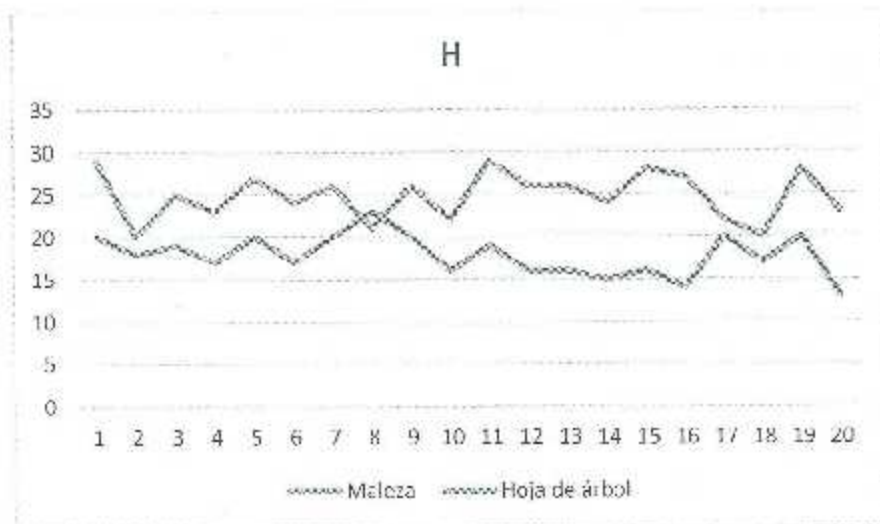


Figura 3.10. Valores del canal H.

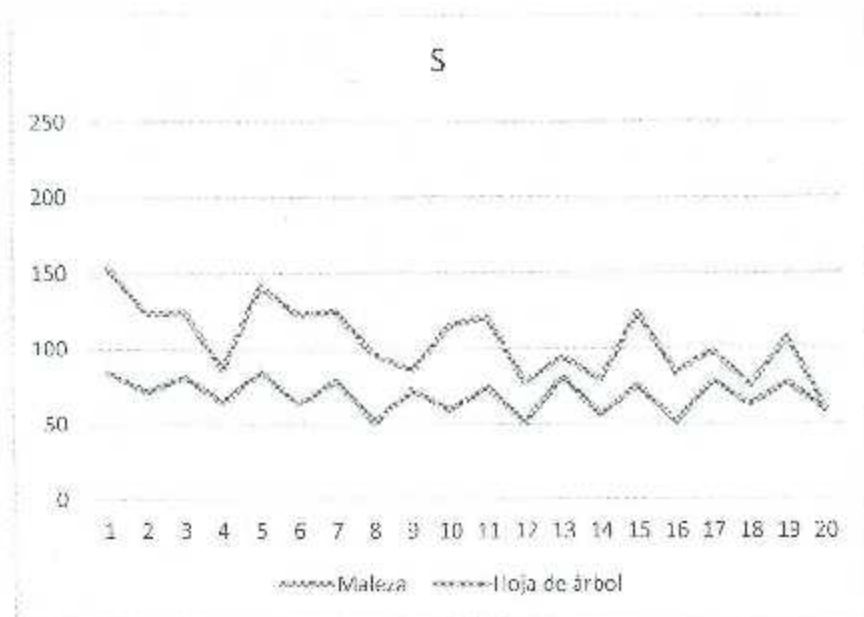


Figura 3.11. Valores del canal S.

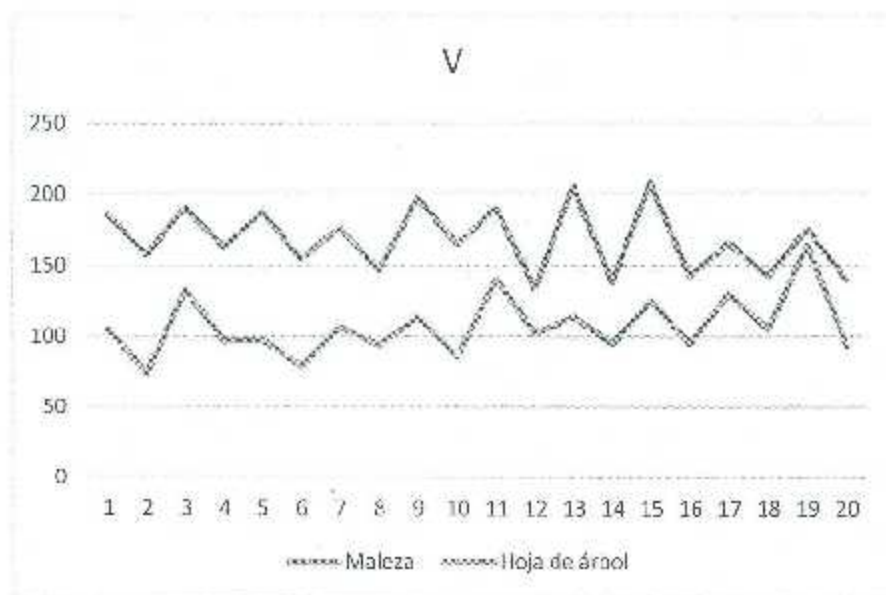


Figura 3.12. Valores del canal V.

Los valores máximos y mínimos para cada canal del espacio HSV correspondientes a la hoja del trompillo se muestran en la **Tabla 3.2**.

Tabla 3.2. Máximos y mínimos para cada canal.

	H	S	V
Máximo	23	84	209
Mínimo	13	51	134

3.6 CREACIÓN DE PROGRAMA PARA LA DETECCIÓN.

Aquí se crean los códigos con los que se detectará la maleza, son dos códigos diferentes, uno para ser utilizado en la aplicación de herbicidas en pre y otro para la aplicación de herbicidas en post.

Para la detección en pre se utiliza un índice llamado Excess Green [41], en el caso de la detección en post se utiliza una segmentación de la imagen por medio de la determinación de los valores de los canales HSV de las hojas.

En el momento de la aplicación en pre no se tiene cultivo presente en la parcela, esto quiere decir que se tiene un suelo desnudo, sabiendo esto se puede deducir que cualquier planta que se encuentre ahí es una maleza.

El índice Excess Green es un algoritmo utilizado para separar las plantas vivas del fondo de la imagen (tierra, desechos de plantas secas, piedras, etc.), la ecuación de este índice es:

$$ExG = 2g - r - b$$

Donde r, g y b son coordenadas cromáticas dadas por:

$$r = \frac{R^*}{R^*+G^*+B^*}, \quad g = \frac{G^*}{R^*+G^*+B^*} \quad \text{y} \quad b = \frac{B^*}{R^*+G^*+B^*}$$

En las cuales R^*, G^*, B^* son valores normalizados de 0 a 1 del RGB.

$$R^* = \frac{R}{R_m}, \quad G^* = \frac{G}{G_m} \quad \text{y} \quad B^* = \frac{B}{B_m}$$

En donde R, G y B son el valor actual del pixel de la imagen y R_m, G_m y B_m son el valor máximo que puede tomar el pixel (255).

A continuación se muestra el proceso en Python para el procesamiento de la **Figura 3.13** mediante el algoritmo de Excess Green, para realizar esto en video, solo se indica que se realice todo el proceso a cada frame del video.

```
im = cv2.imread('ovideo1-frame-189.jpg')
```

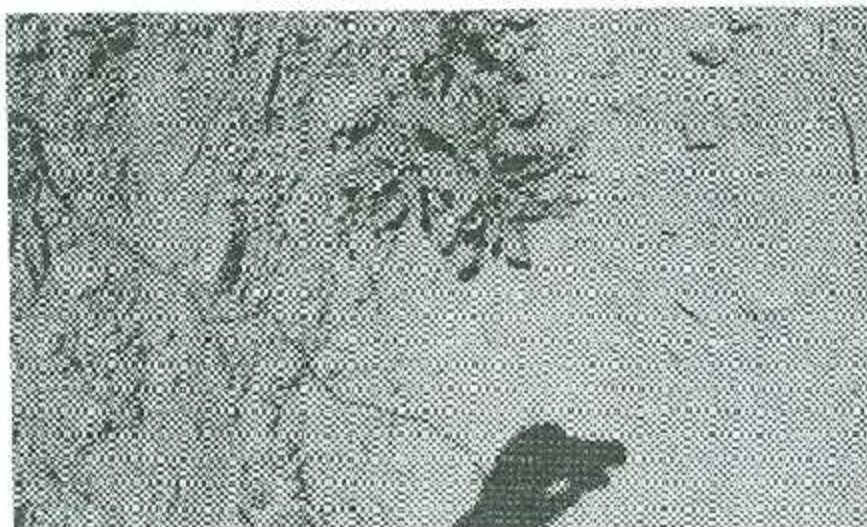


Figura 3.13. Maleza en suelo sin cultivo.

Al realizar todo el proceso del Excess Green se tiene como resultado la **Figura 3.14** en donde se puede ver en color gris todas las plantas presentes en la imagen.

$$eg = (2 * (g)) - r - b;$$

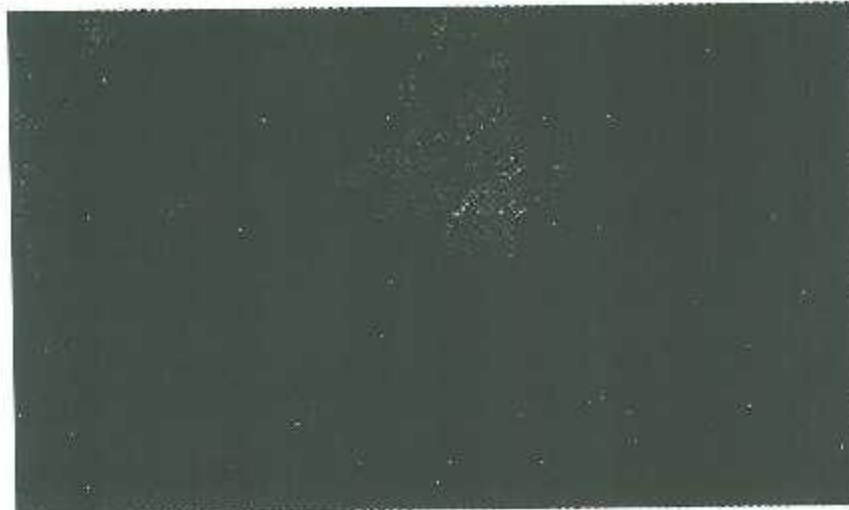


Figura 3.14. Resultado final Excess Green.

Después de esto se binariza la imagen, todos los pixeles que sean grises tomarán un valor de 1, los demás serán un 0 (**Figura 3.15**).

```
rangomax=np.array([.3]);  
rangomin=np.array([.01]);  
  
mascara=cv2.inRange(eg, rangomin, rangomax)
```



Figura 3.15. Imagen binarizada.

Para finalizar, se encuentran los contornos de todas las áreas en blanco de la imagen binarizada y después esos contornos se marcan en la imagen original (Figura 3.16).

```
(ret, contours, hierarchy)=cv2.findContours(mascara, cv2.RETR_TREE,
                                           cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

for pic, contour in enumerate(contours):
    area=cv2.contourArea(contour)
    if area>150:
        epsilon = .0001*cv2.arcLength(contour, True)
        approx = cv2.approxPolyDP(contour, epsilon, True)
        cv2.drawContours(img, [approx], 0, (0, 0, 255), 4)
```

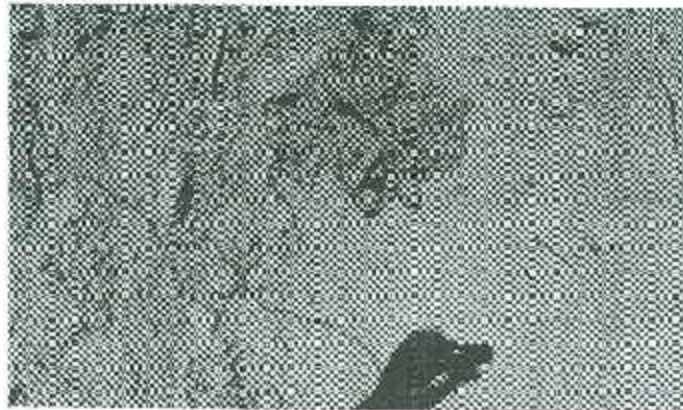


Figura 3.16. Maleza resaltada con contornos.

Para el caso de la detección en post se separa la maleza del suelo, restos orgánicos secos, piedras y plantas de cultivo usando sus valores propios del espacio HSV, los cuales ya se explicó cómo obtenerlos en la sección anterior.

Nuevamente se explicará cómo realizar la separación de maleza en una imagen, también se mostrará porque no se utiliza la imagen en RGB.

En la **Figura 3.17** se encuentra una planta de trompillo y algunas hojas de árbol, es una imagen extraída del mismo video del que se obtuvieron los frames para la obtención de los valores del HSV de la maleza.


```
img = cv2.imread('maxivida11-fronte-V8.jpg')
```



Figura 3.17. Imagen destinada para la detección.

Posteriormente para la eliminación de ruido es recomendado la aplicación de un filtro Gaussiano, nótese que la imagen se vuelve un poco más borrosa (Figura 3.18).



Figura 3.18. Imagen filtrada.

Después del filtro se convierte de RGB a HSV (Figura 3.19).

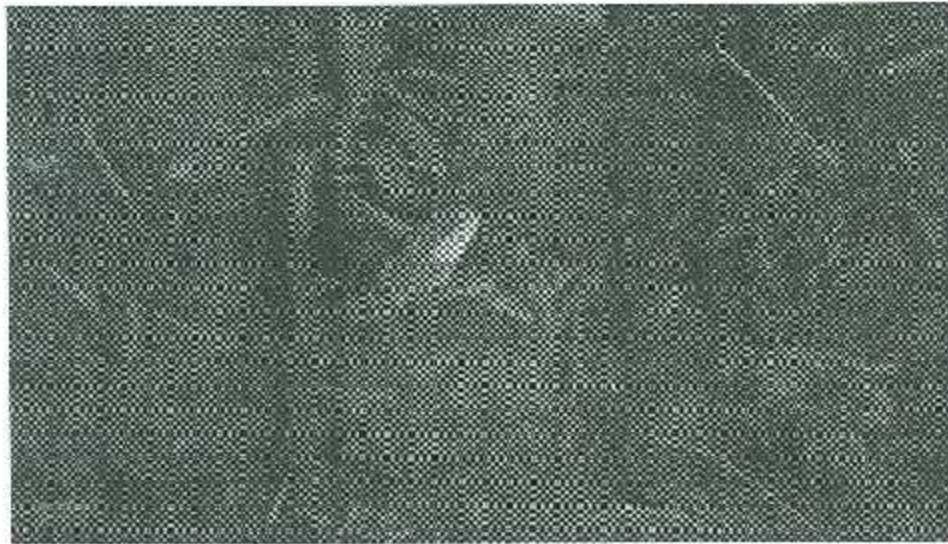


Figura 3.19. Conversión RGB a HSV.

Con los valores de máximos y mínimos detallados en la Tabla 3.2 se obtiene una imagen binaria, en la cual los píxeles con valor de 1 son los que se encuentran dentro de los rangos especificados para cada canal. En la Figura 3.20 se puede observar dicha máscara, en color blanco se ve la planta de trompillo cuyos píxeles entran en el rango de valores especificado, pero también se puede observar algunas partes de la hoja que se encuentra a su lado.

```
range(0,255,0,255,0,255)
range(0,255,0,255,0,255)
cv2.inRange(img, range(0,255,0,255,0,255),
```

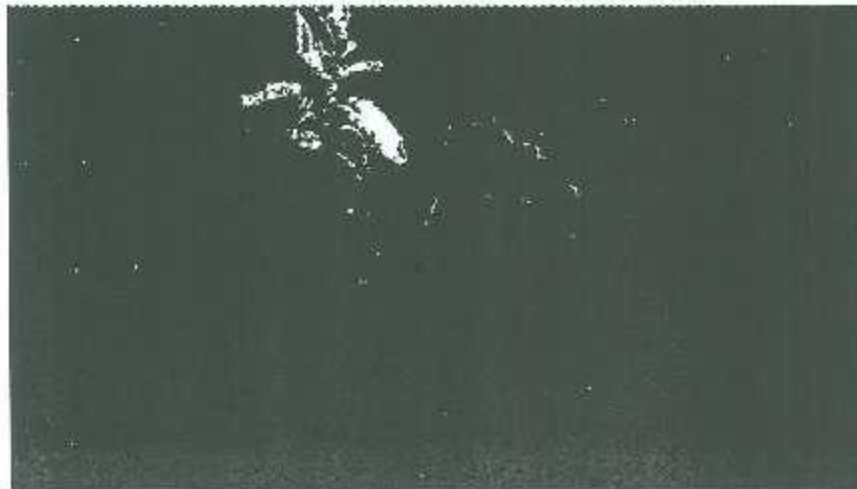


Figura 3.20. Imagen binarizada.

Cabe recalcar que si esa máscara se realizara con los valores de RGB no se podría hacer una separación precisa, en la **Figura 3.21** se puede ver una muestra de esto, los valores para RGB se obtuvieron de la misma manera que se explicó anteriormente, pero sin la conversión entre espacios de color.



Figura 3.21. Máscara RGB.

Para eliminar esas zonas no deseadas se procedió a aplicar a la imagen una erosión de 3 iteraciones y un kernel de 3x3. Con esta erosión se ve en la **Figura 3.22** que esas zonas no deseadas se eliminaron, pero también se redujo considerablemente las hojas de la planta que queremos detectar.



Figura 3.22. Imagen erosionada.

Para volver a realzar la zona de la planta de trompillo se realizó una dilatación de once iteraciones con un kernel de 5x5. En la **Figura 3.23** se ve la planta de trompillo mucho más grande que anteriormente.



Figura 3.23. Imagen dilatada.

Como paso final en la detección se realiza la detección de los contornos de los objetos en la imagen y después estos se marcan en la imagen original. En la **Figura 3.24** se observa solo la planta de trompillo rodeada por una línea roja.

```
(ret, contours, hierarchy) = cv2.findContours(dilacion, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
for i, contour in enumerate(contours):
    area = cv2.contourArea(contour)
    if (area > 100):
        approx = cv2.approxPolyDP(contour, 1)
        approx = cv2.approxPolyDP(contour, epsilon, True)
        cv2.drawContours(image, [approx], 0, (0, 0, 255), 2)
```



Figura 3.24. Planta de trompillo detectada.

Después que se realizó la detección en ambos casos (pre y post) se incluyó en el código una manera de comunicar el programa con un Arduino, esto para demostrar que al momento de detectar maleza se puede controlar dispositivo electrónico y así en trabajos futuros diseñar el sistema de aspersores para la eliminación de la maleza. Para hacer esto la pantalla se divide con líneas blancas en secciones, en nuestro caso se dividió en cinco partes, se enumeraron del uno al cinco. En la **Figura 3.25** se muestra un ejemplo de esto, en ella se encuentra la detección desactivada.

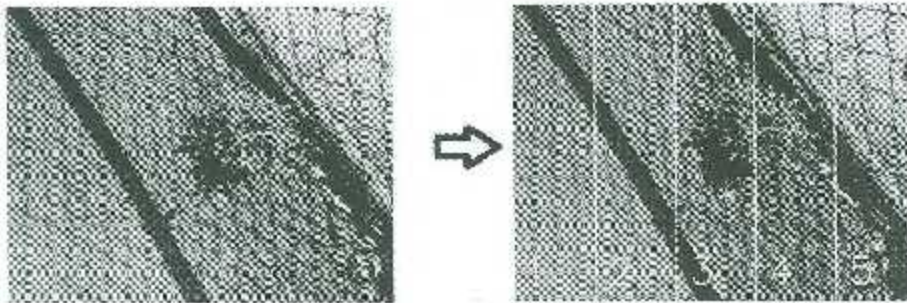


Figura 3.25. Pantalla original y pantalla dividida.

De inicio a cada sección se le asigna una letra en el programa las cuales fueron "a" para la sección 1, "b" para la sección 2 y así sucesivamente hasta llegar a la "e" para la sección 5, cuando se detecta una planta de maleza estas letras cambian a "f, g, h, i, j", además de que los números que se ven en la pantalla de color blanco cambian a color amarillo (**Figura 3.26**).

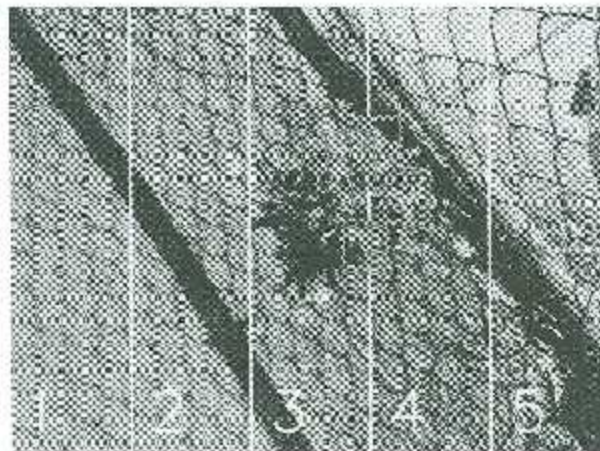


Figura 3.26. Ejemplo de la pantalla con la detección activada.

Todas estas letras se guardan en una lista, la cual se envía mediante puerto serial a un Arduino. En esta tarjeta se programan cinco salidas, cada sección controla una salida, todas se encuentran en estado bajo cuando llegan algunos de las primeras cinco letras. cada salida se pondrá en alto al momento de recibir cualquiera de las letras de "f" a "j", en estas salidas se conectaron leds para percibir mejor el cambio de estados en ellas (**Figura 3.27**).

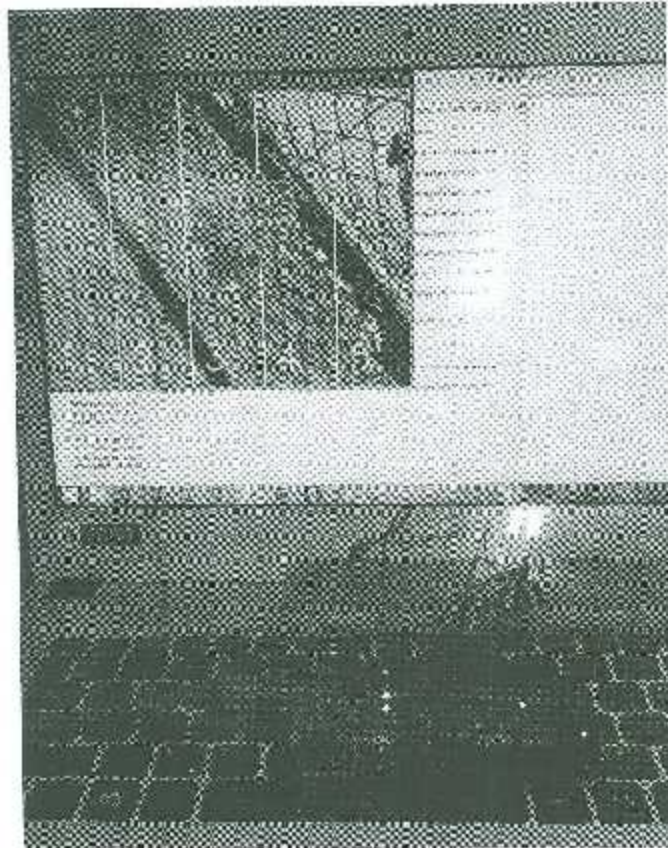


Figura 3.27. Conexión con Arduino.

3.7 CREACIÓN DE INTERFAZ GRÁFICA PARA VIDEO.

La creación se realizó con ayuda de la librería PyQt4 y de un complemento que se instala junto con ella llamado Qt Designer (**Figura 3.28**). Las interfaces gráficas pueden hacerse escribiendo su código o haciendo uso de Qt Designer en donde se puede ver más gráficamente como ir acomodando los distintos elementos de la interfaz (**Figura 3.29**). Con esto se crea un archivo .ui, el cual se convierte a .py

que es la extensión de los documentos de Python mediante el uso de una herramienta llamada Pyulc4.

En la interfaz gráfica para la detección de maleza por medio de video se agregan varios botones y selectores, con los cuales se pueden realizar las distintas actividades explicadas anteriormente (**Figura 3.30**).

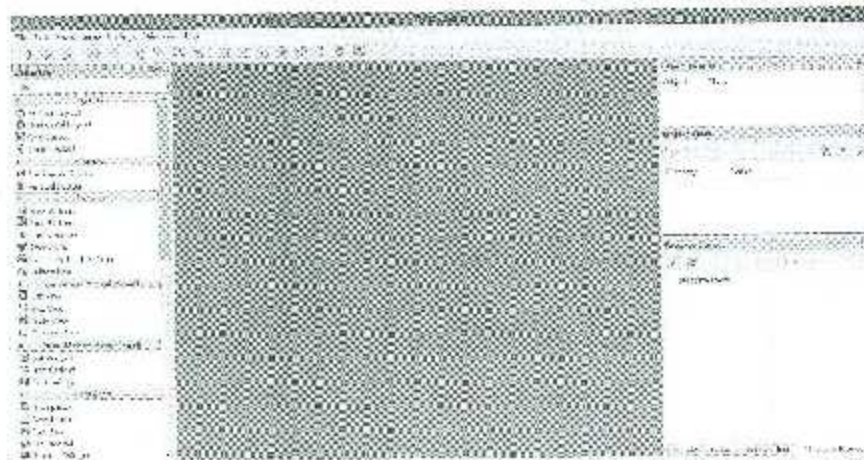


Figura 3.28. Ambiente de trabajo Qt Designer.

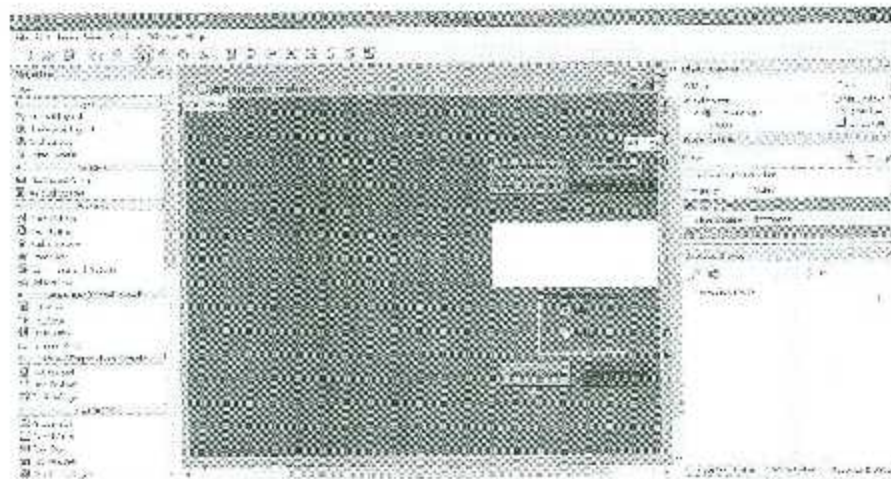


Figura 3.29. Creación de interfaz.

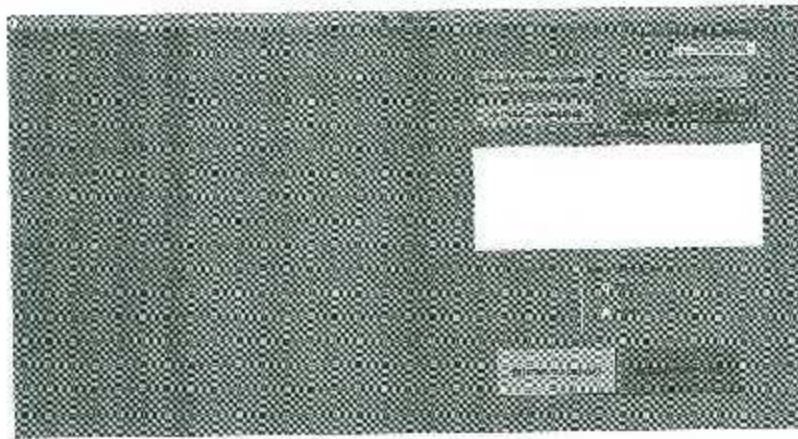


Figura 3.30. Interfaz gráfica para la detección de maleza.

En la interfaz gráfica el video captado por la cámara se observará de lado izquierdo, en el espacio verde libre que se ve, esto se podrá ver al momento de pulsar "probar cámara", botón con el cual se prueba que se tenga alguna cámara conectada a la computadora. También al presionar el botón "iniciar recorrido" se podrán ver las imágenes captadas, solamente que en este caso ya se hace una conexión con el Arduino mediante el puerto seleccionado en la parte de arriba, a su vez se empezará a hacer la detección de maleza teniendo la posibilidad de seleccionar el método con los selectores en la parte inferior, si hubiera algún error de comunicación con Arduino o con la cámara el error se mostrará en el recuadro blanco.

También se puede revisar el correcto funcionamiento de las salidas del controlador y la conexión con este mediante los botones "probar comunicación" y "probar aspersores"

3.8 CREACIÓN DE COMPLEMENTOS PARA LA APLICACIÓN.

Se crearon también dos complementos para la aplicación, los cuales son un programa para consultar las condiciones actuales del clima en algún lugar determinado, así como el pronóstico para los próximos cuatro días. A esto se le sumó una agenda en la cual el agricultor puede revisar las actividades realizadas o eventos a realizar en un futuro.

En la aplicación del clima se hace uso de la librería PyOWM la cual mediante una clave api ingresa a la página Open Weather Map y obtiene los datos del clima correspondientes al lugar seleccionado (**Figura 3.31**). El uso de este clave es gratuita.

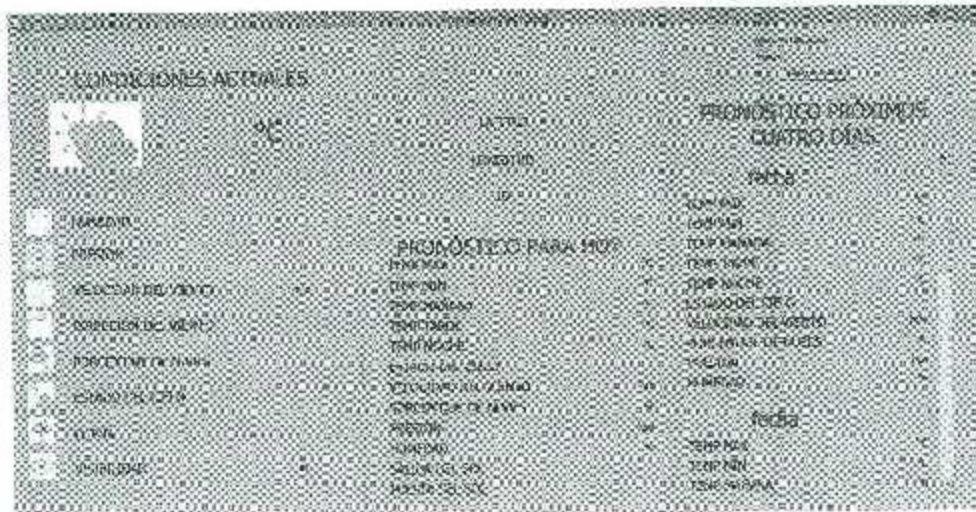


Figura 3.31. Aplicación para pronóstico del clima.

En el caso de la agenda, cada vez que se guarda un evento en una fecha se crea un archivo el cual lleva por nombre la fecha seleccionada y en él se guarda todo el texto escrito en el recuadro. Para ingresar a los datos guardados de una fecha solamente hay que dar clic sobre el día deseado (**Figura 3.32**).

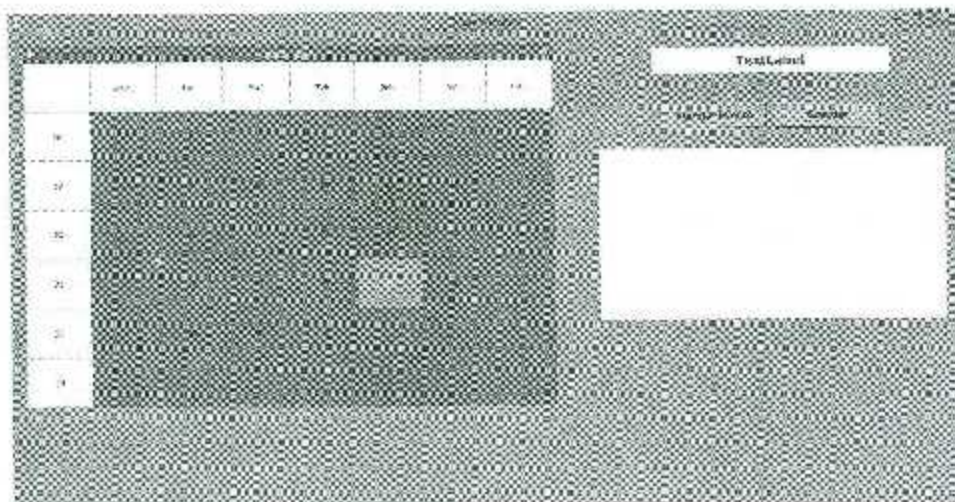


Figura 3.32. Agenda.

Para ingresar más fácilmente a cada una de las herramientas se creó una ventana principal, en la cual se agregan tres botones para seleccionar la aplicación que se desee usar (**Figura 3.33**).

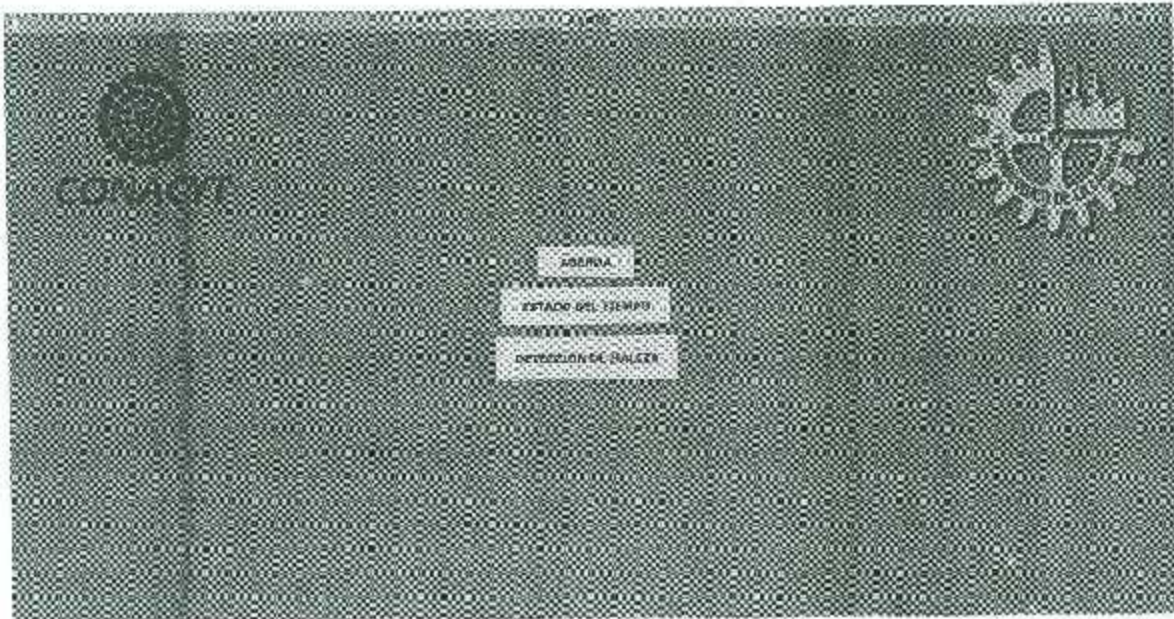


Figura 3.33. Ventana principal.

Capítulo 4. RESULTADOS.

4.1 OBTENCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE MALEZA.

Como resultado final se pudo verificar que los valores HSV para la maleza y cultivo pueden cambiar dependiendo de la etapa en que se encuentren.

Se obtuvieron los datos característicos (detección en post) para las plantas el día 22 de abril del 2017 (16 días después de la siembra) y del 30 de abril del 2017 (24 días después de la siembra). Haciendo una revisión de estos valores se pudo observar que estos valores pueden cambiar entre una semana y otra.

Para el día 22 de abril se obtuvieron los siguientes valores (*Tabla 4.1, Figura 4.1, Figura 4.2, Figura 4.3*):

Tabla 4.1. Valores para el 22 de abril.

H		S		V	
Maleza	Sorgo	Maleza	Sorgo	Maleza	Sorgo
17	24	61	83	109	140
28	27	98	102	155	172
19	21	67	74	107	132
23	29	91	104	139	151
14	22	67	83	125	123
23	29	94	97	153	170
19	23	68	88	113	138
24	26	91	104	145	166
24	20	64	83	100	135
27	23	105	106	140	153
19	22	60	106	140	142
26	27	78	99	164	170
18	24	59	92	112	128
31	29	101	113	151	163
21	23	109	86	119	148
29	27	60	112	158	167
24	26	70	96	128	148
23	27	98	114	161	170
18	24	61	88	124	133
25	27	89	107	164	163



Figura 4.1. Valores de H.



Figura 4.2. Valores de S.

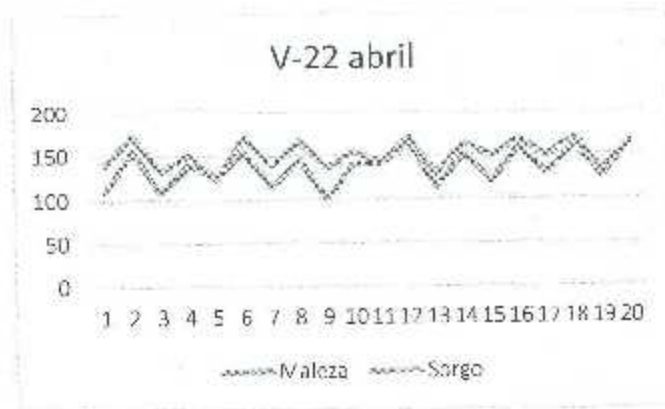


Figura 4.3. Valores de V.

En la **Tabla 4.2** se muestran los valores que se ingresaron en el programa para esa etapa de crecimiento.

Tabla 4.2. Máximos y mínimos para el 22 de abril.

Trompillo			
	H	S	V
Máximo	27	91	150
Mínimo	18	60	100

Para las plantas del día 30 de abril se obtuvieron los resultados indicados en la tabla 10 y en las **Figura 4.4 - 4.7**.

Tabla 4.3. Valores para el día 30 de abril.

H		S		V	
Maleza	Sorgo	Maleza	Sorgo	Maleza	Sorgo
29	31	68	77	158	188
22	27	51	62	189	153
21	25	65	66	196	160
17	30	50	79	157	187
21	26	70	73	212	135
17	32	51	94	155	177
25	34	67	82	195	175
14	28	52	57	148	141
23	26	69	71	197	163
15	32	44	86	166	187
29	29	69	64	197	134
17	32	39	97	156	172
24	34	54	95	194	179
20	29	39	72	172	156
26	22	65	62	184	149
18	32	49	87	158	190
20	21	64	57	193	142
21	31	48	83	161	175
23	29	65	60	192	143
18	31	51	79	168	172

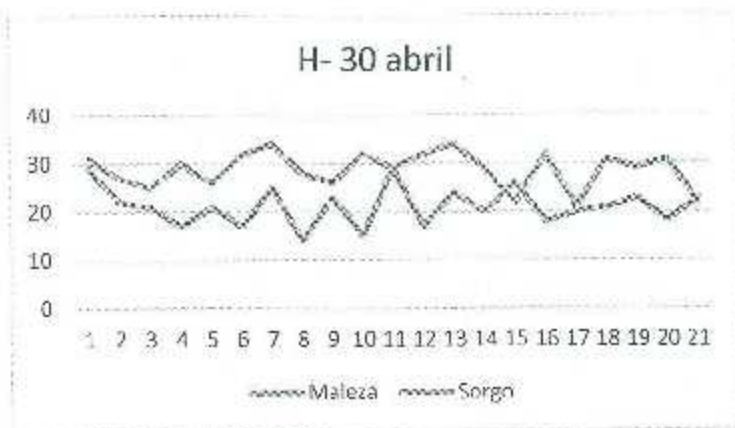


Figura 4.4. Valores de H.



Figura 4.5. Valores de S.

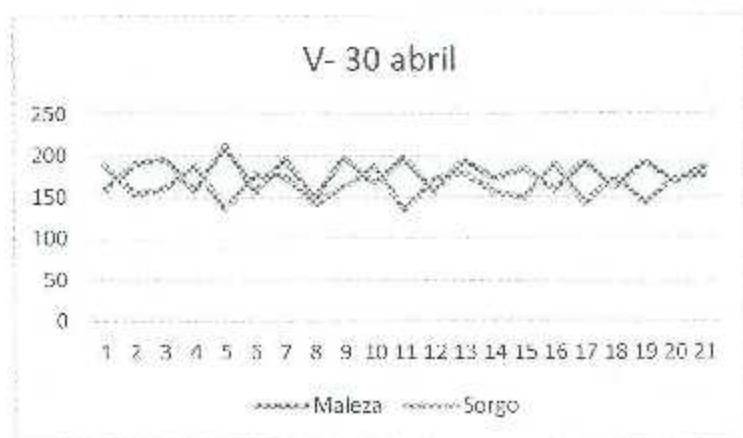


Figura 4.6. Valores de V.

En la **Tabla 4.4** se muestran los valores máximos y mínimos para el día 30 de abril, en la cual se puede observar cómo cambian los resultados obtenidos.

Tabla 4.4. Máximos y mínimos para el 30 de abril.

Trompillo			
	H	S	V
Máximo	24	58	212
Mínimo	15	40	172

Con esto se puede observar que en los canales S y V hay una gran diferencia entre una semana y otra de crecimiento de la maleza.

4.2 PRUEBAS EN CAMPO

En ambos casos se realizó una prueba de funcionamiento el día siguiente de la obtención de los valores (23 de abril y 1 de mayo). Se recorrieron diversas partes de la parcela en recorrido de aproximadamente 40 segundos cada uno, en todos los recorridos se tuvieron apariciones de trompillo, en ocasiones se llegaron a tener hasta 80 plantas de esta maleza (**Figura 4.7**).

En ambos casos se obtuvieron buenos resultados alcanzando más de 90% de efectividad. Un ejemplo de ello fue en el tramo donde más planta de trompillo se encontraron (80 plantas), de las 80 plantas de maleza, el sistema omitió 7 de ellas, algunas plantas fueron detectadas intermitentemente o no en su totalidad, el resto de ellas se detectaron correctamente. En otras ocasiones hubo una buena detección aún en plantas de maleza que se encontraban debajo de plantas de sorgo, en ellas la planta de sorgo fue ignorada correctamente (**Figura 4.8**). En la **Figura 4.9** se pueden observar tres plantas de maleza, una se ve detectada completamente entre las secciones cuatro y cinco, a la izquierda de ella hay una que no se detectó (sección tres) y arriba de ellas una que se detectó intermitentemente.

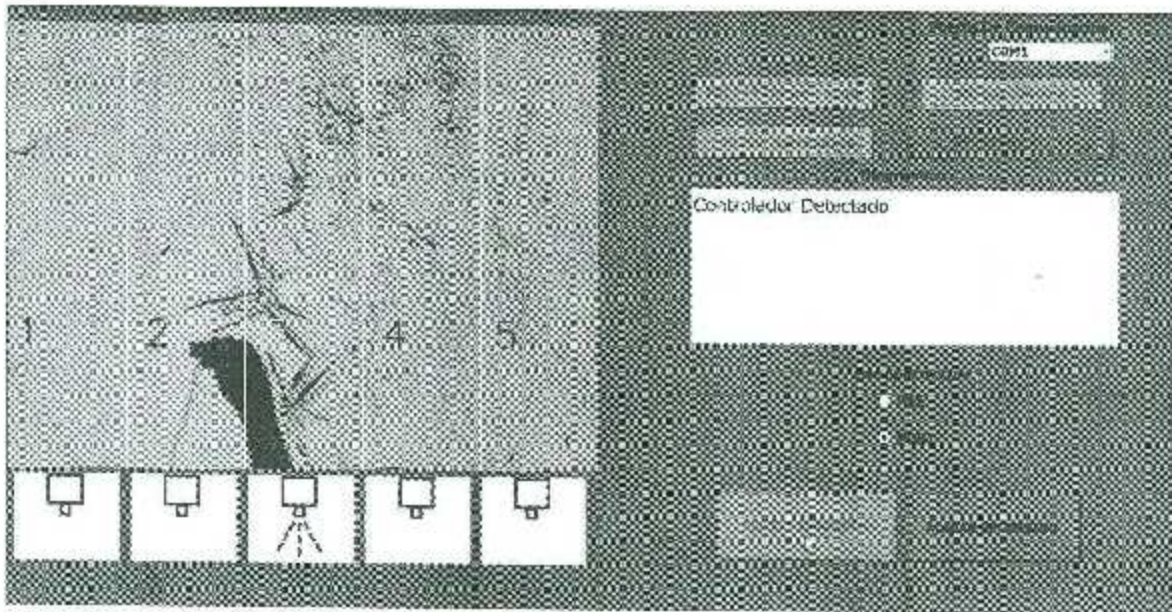


Figura 4.7. Detección de plantas de trompillo en sorgo.

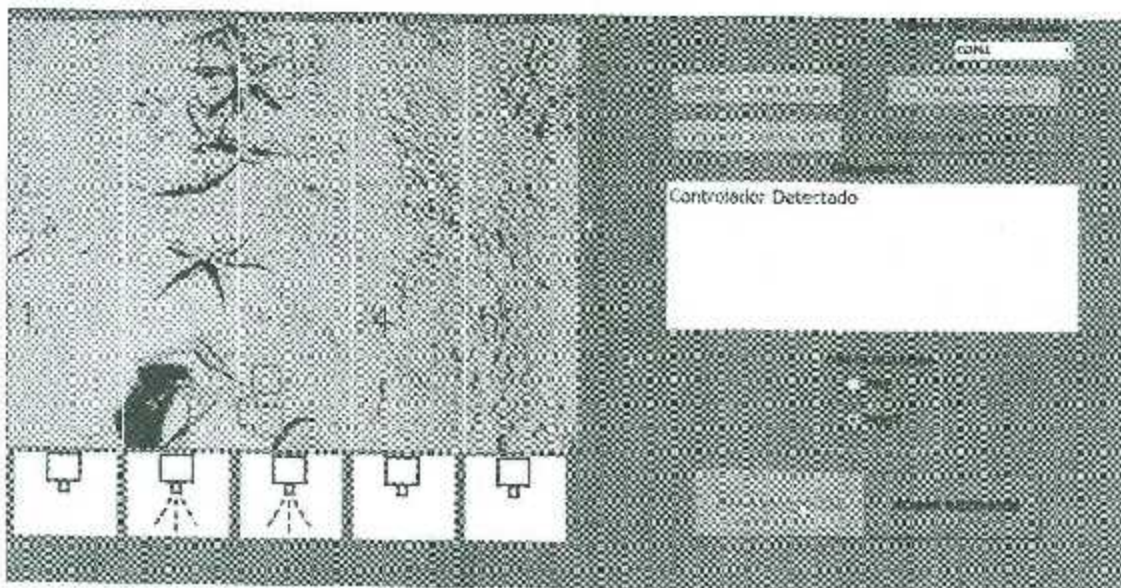


Figura 4.8. Trompillo enire planta de sorgo.

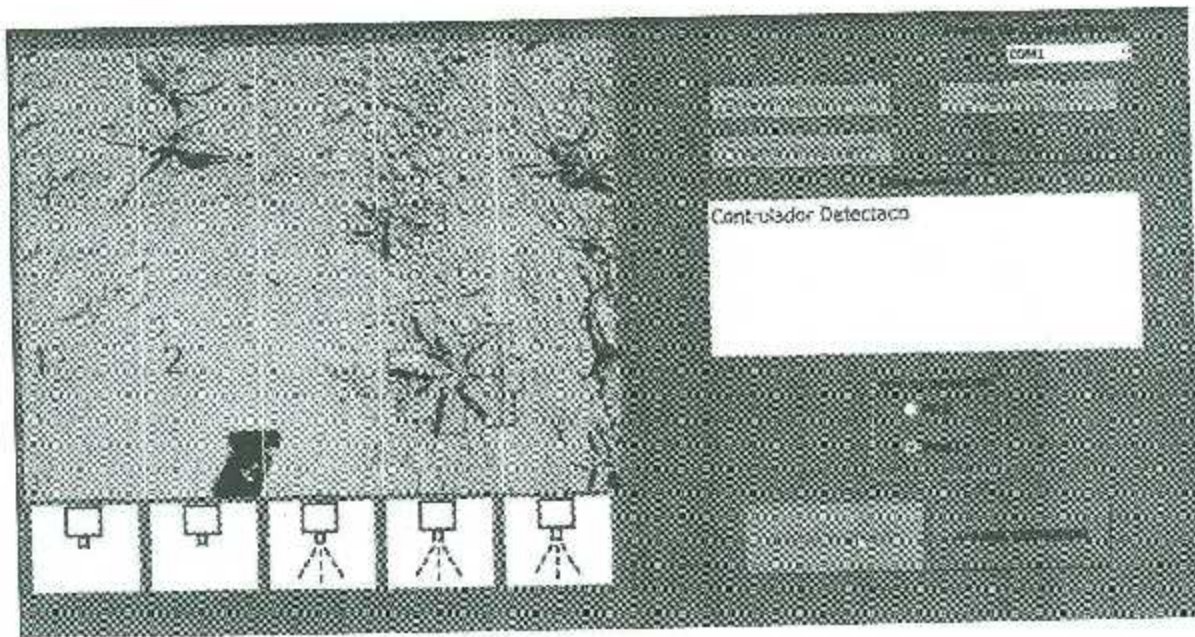


Figura 4.9. Maleza detectada y no detectada.

En escasas ocasiones el sistema marcó como maleza unas pequeñas partes del sorgo, llegaron a ser hasta 15 veces por prueba (Figura 4.10).

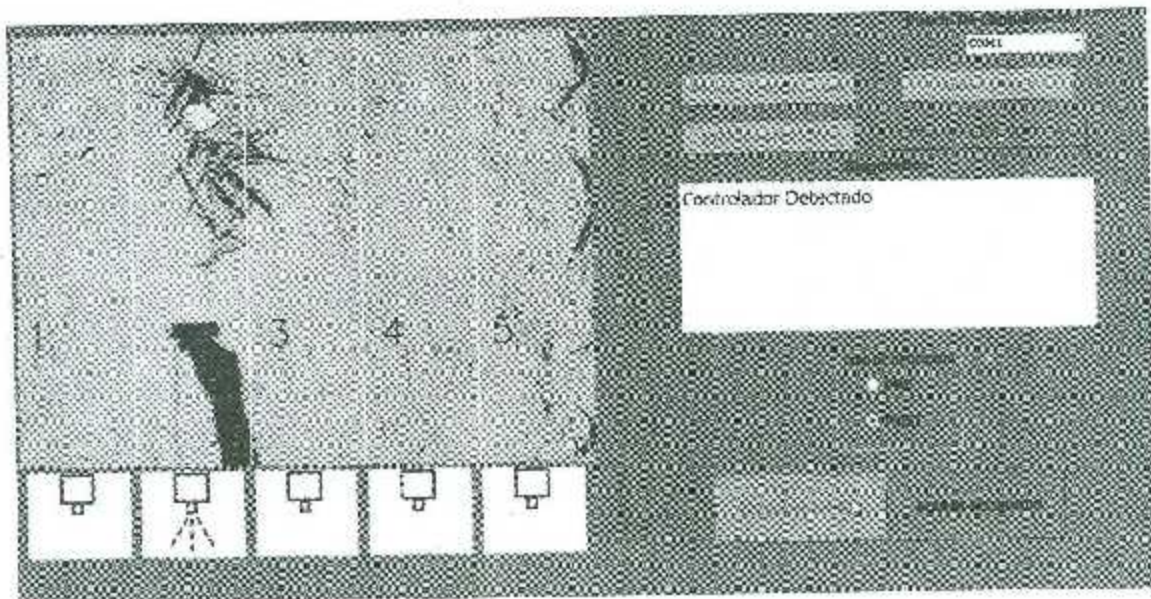


Figura 4.10. Sorgo marcado como maleza.

En el caso de Excess Green (pre) se realizaron pruebas en partes de la parcela en donde no se realizó siembra ni ningún trabajo de desmalezamiento, se puede llegar a tener hasta más de un 95% de efectividad ajustando bien los niveles mínimos de gris que se programe para que sea detectado como maleza (Figura 4.11).

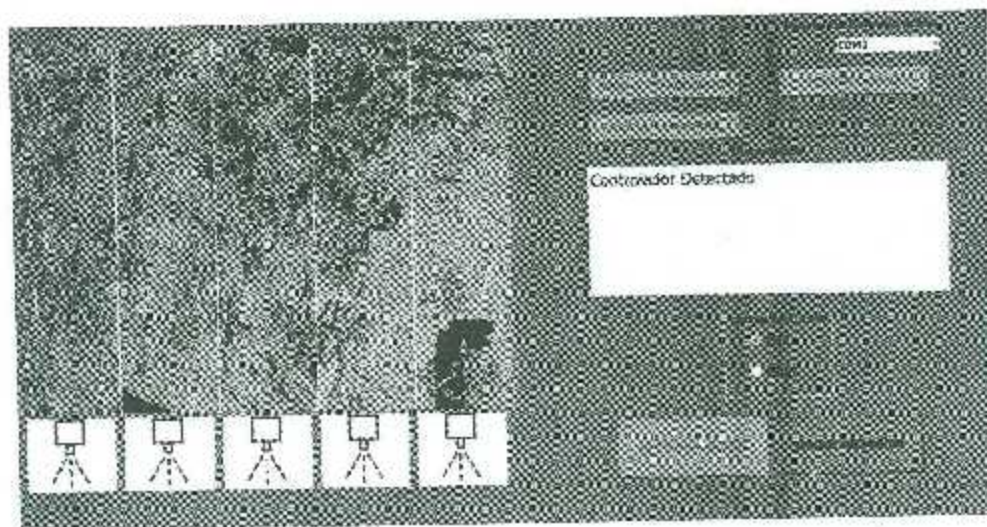


Figura 4.11. Detección con Excess Green.

4.3 COMPLEMENTOS DE LA APLICACIÓN

En cuanto a los complementos la agenda (

Figura 4.12) es de gran utilidad para que la persona encargada pueda llevar una bitácora del trabajo realizado, la que se programó en este proyecto tiene un buen funcionamiento desplegando y guardando datos deseados.

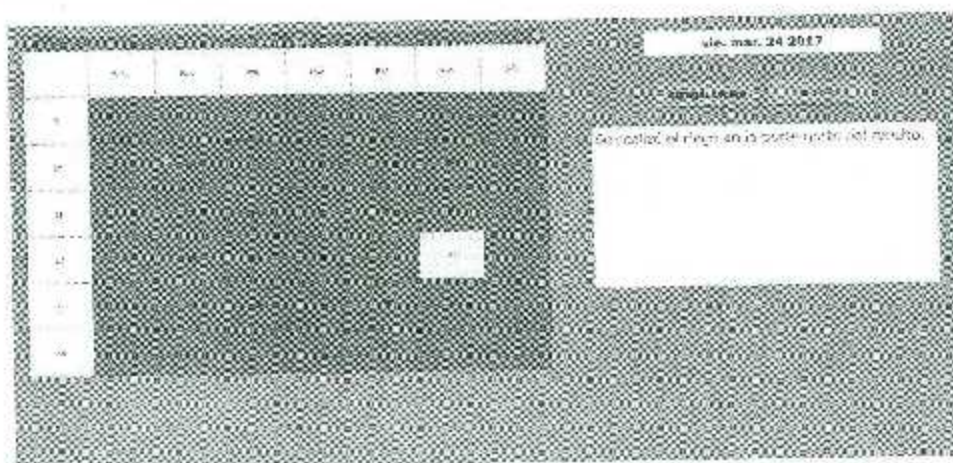


Figura 4.12. Agenda.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Todos los objetivos planteados en el Capítulo 1 de este escrito fueron logrados en el transcurso del tiempo estimado. A continuación se presentan conclusiones relacionadas con estos.

- Con la revisión del estado del arte se obtuvieron los conocimientos necesarios para poder elegir los métodos adecuados para el desarrollo del proyecto, también los conocimientos básicos para entender distintos aspectos sobre agronomía.
- Se obtuvieron resultados para dos etapas de crecimiento de sorgo y maleza, dando lugar a los primeros datos para la creación de una pequeña base de datos para futuras caracterizaciones de plantas.
- En este proyecto se realizó el diseño de un sistema para detectar Trompillo (*Solanum Elaeagnifolium Cav.*) en un cultivo de sorgo escobero. Se eligió esta planta ya que es una de las malezas más agresivas y difíciles de eliminar por todos los métodos, en cuanto a la eliminación por medio de herbicidas aplicados en post-emergencia se necesitan químicos muy específicos para su combate, los cuales pueden llegar a dañar el cultivo reduciendo el rendimiento de este. Esta maleza tiene características muy particulares, las cuales pueden ser utilizadas para detectarla fácilmente, una de estas características es su color el cual puede variar dependiendo de las condiciones en las que se encuentre. La detección se realizó eligiendo umbrales para cada canal del espacio de color HSV, los cuales pertenecían a pequeños trozos de las hojas de la maleza. Usando este método se alcanzaron niveles de más de 90% en la detección de la maleza, pero en uno de sus puntos en contra es que en ocasiones tiene errores detectando como maleza hojas de cultivo del sorgo.

- El procesamiento de la imagen en tiempo real se llevó a cabo con un buen desempeño de la computadora, sin embargo no fue excelente, ya que en zonas con alta presencia de maleza el procesamiento devolvía un poco lento.
- La interfaz gráfica trabaja sin problemas, en ella se puede agregar en un futuro la selección de la etapa de crecimiento, además de algunos otros complementos que sean solicitados por parte del sector agrícola.
- La agricultura en México necesita ayuda de diversos campos de investigación, los cuales la ayuden a utilizar una menor cantidad de insumos y elevar la producción.
- Es una satisfacción personal el haber podido desarrollar este proyecto, ya que como ingeniero eléctrico en ocasiones se formula soluciones muy complicadas a un problema, cuando en ocasiones no es necesario. Se pudo observar lo que en realidad necesitan los productores agrícolas y así poder dar una solución óptima a problemas en ese campo.

RECOMENDACIONES

- Teniendo como base la revisión del estado del arte y el desarrollo de este proyecto se puede mejorar, como el usar distinto métodos para la detección, como puede ser la forma de las hojas, esto podría llevar a poder detectar otro tipo de malezas, también crear el diseño del sistema para asperjar el herbicida a las malezas, en este diseño se podrían tomar distintas consideraciones como el lugar correcto en donde ubicar el sistema, calcular los materiales necesarios para soportar la presión del herbicida, entre otros.

REFERENCIAS

- [1] Ciencia Espacial, "La necesaria relación entre tecnología y agricultura," *Agriculturers.com | Red de Especialistas en Agricultura*, 2015. [Online]. Available: <http://agriculturers.com/la-necesaria-relacion-entre-tecnologia-y-agricultura/>. [Consultada: 17-May-2017].
- [2] P. Villalobos, R. Manriquez, C. Acevedo, and S. Ortega, "Alcance de la agricultura de precisión en Chile: estado del arte, ámbito de aplicación y perspectivas," *www.odepa.gob.cl*, p. 112, 2009.
- [3] J. Dorado and C. Fernandez-Quintanilla, "Aspectos prácticos de la aplicación de herbicidas en cereales," *InfoAgro*. [Online]. Available: http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/aplicacion_herbicidas_cereales.htm. [Consultada: 17-May-2017].
- [4] E. Chartuni, F. D. A. De Carvalho, D. Marçal, and E. Ruz, "Nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria," *CUMUNICA- Tecnol. e Innovación*, vol. 1, pp. 24–31, 2007.
- [5] W. S. Lee, D. C. Slaughter, and D. K. Giles, "Robotic weed control system for tomatoes," *Precis. Agric.*, vol. 1, no. 1, pp. 95–113, 1999.
- [6] N. Tillet and T. Hague, "Volunteer potato control in a range of vegetable crops," *Tillet and Hague Technology- Projects*, 2009. [Online]. Available: <http://www.thtechnology.co.uk/projects.html>. [Consultada: 18-May-2017].
- [7] M. de J. Flores, V. D. Velasco, F. G. Flores, and G. González, "Red Inalámbrica de Sensores para Monitoreo de Humedad Enterrada," *Ibersensor 2010*, no. November, pp. 9–11, 2010.
- [8] J. M. Jauregui, "Diseño e implementación de una estación climática."
- [9] L. Martínez, E. Martínez, F. Florez, G. Castellanos, A. Juárez, and M. López, "Desarrollo de una base de datos para caracterización de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en un sistema de visión artificial," *Rev. Int. Botánica Exp. Pyt.*, vol. 52, no. 871, pp. 43–47, 2009.
- [10] M. Carmona and M. Gassen Dircey y Scandiani, "Síntomas de fitotoxicidad en soja, Conocerlos para evitar confusiones."
- [11] E. Rosales Robles and R. Sánchez de la Cruz, "Manejo integrado de malcoza

- sorgo en el Noreste de México," *INIFAP-CIRNE. Campo Exp. Río Bravo. Foll. Técnico Núm.*, vol. 28, p. 54, 2004.
- [12] E. Cejudo Espinosa, "LOS HUMEDALES Y LA CONTAMINACION POR HERBICIDAS Eduardo," *Conoc. y Sobreviv. - Proy. Web Del Inst. Ecol. A.C.*, pp. 1-2, 2012.
- [13] A. Ing Juan Borja Vivero and I. Ramón Valdivia Álvarez, *Introducción a la agronomía*, no. Quito, Ecuador. 2015.
- [14] L. A. Ruiz Diaz, *Agricultura General*. Paraguay: Dirección de Educación Agraria del Ministerio de Agricultura y Ganadería., 2004.
- [15] J. M. Salas Oroño, *Tipos de agriculturas y tipos de agricultores*. Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de Tucumán, 2007.
- [16] I. Martínez, "Historia de la agricultura en México," *Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental*, 2003.
- [17] N. Carrasco *et al.*, "Manual de sorgo," Buenos Aires, 2011.
- [18] T. Gerik, B. Bean, and R. Vanderlip, "Sorghum - Growth and Development," 1993.
- [19] H. Salvador *et al.*, "Guía Técnica del Sorgo," vol. 1ª ed., p. 40, 2007.
- [20] J. Martínez Villa, R. A. Silva Sácnz, and E. de J. Cuellar Villarreal, "Guía para cultivar sorgo forrajero de riego para pastoreo, verdeo y henificado en el norte y centro de Coahuila," no. 7, 2005.
- [21] E. Rosales-robles and R. Sánchez-de, "Control Químico De Maleza De H Oja Ancha En Sorgo Para Grano Chemical Control of Broadleaf Weeds in Grain Sorghum," vol. 34, no. 4, pp. 269-275, 2011.
- [22] E. R. Robles and R. Sánchez De La Cruz, "Manejo de maleza en algodón en el norte de Tamaulipas," vol. 47, 2010.
- [23] E. Castro Martínez, "Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México," *Inst. Nac. Investig. For. y Agropecu. Cent. Investig. Reg. Norte Cent. Exp. La Laguna. Libr. Técnico*, vol. 2, pp. 19-26, 2000.
- [24] Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes, "Solanum elaeagnifolium," *OEPP/EPPO Bull.*, vol. 37, pp. 236-245, 2007.

- [25] H. Castillo Tovar. "CONTROL QUIMICO DE TROMPILLO EN PARCELAS SIN CULTIVO," *Boletín Electrónico*, no. 20, 2015.
- [26] J. Martínez de la Cerda, "Control de malezas en hortalizas," pp. 3–6.
- [27] N. Rodríguez, J. Garay, and J. C. Colazo, "Control de malezas y uso de herbicidas en sorgo."
- [28] J. Agüera Vega and M. Pérez Ruiz, "Agricultura de precisión: hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria," *Ambienta*, vol. 105, pp. 16–27, 2013.
- [29] I. Zamora and S. Best, *Tecnologías aplicable en agricultura de precisión. Uso de tecnología de precisión en evaluación, diagnóstico y solución de problemas productivos*. Gobierno de Chile- Ministerio de agricultura, 2008.
- [30] S. Montesinos, "Aplicaciones operativas de los SARP en Agricultura," *Los Drones y sus Apl. a la Ing. Civ.*, pp. 101–117, 2015.
- [31] Procisur, *Manual de agricultura de precisión*. 2014.
- [32] e-Agriculture, "Seven reasons why Mexico is ready to become a global leader in ICT for agriculture initiatives | E-Agriculture," 2017. [Online]. Available: <http://www.e-agriculture.org/news/seven-reasons-why-mexico-ready-become-global-leader-ict-agriculture-initiatives>. [Consultada: 16-May-2017].
- [33] J. DLC, "El Color: Tono, saturación, brillo e iluminación." [Online]. Available: <http://tonosatubrilloilu.blogspot.mx/>. [Consultada: 20-May-2017].
- [34] A. de la Escalera, *Visión por Computador. Fundamentos y métodos*. Prentice Hall, 2001.
- [35] J. J. Báez Rojas and M. A. Alonso Pérez, "Uso del sistema HSI para asignar falso color a objetos en imágenes digitales," *Rev. Mex. Fis. E*, vol. 54, no. 2, pp. 186–192, 2008.
- [36] P. B., Roncagliolo, "Proccsamiento Digital de Imágenes," pp. 1–28.
- [37] A. Mordvintsev and A. K., "Las transformaciones morfológicas - OpenCV-Python," *Tutoriales OpenCV-Python*. [Online]. Available: https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_imgproc/py_morphological_

- ops/py_morphological_ops.html#morphological-ops. [Consultada: 20-May-2017].
- [38] "OpenCV." [Online]. Available: <http://opencv.org/>. [Consultada: 19-May-2017].
- [39] "NumPy." [Online]. Available: <http://www.numpy.org/>. [Consultada: 19-May-2017].
- [40] "Riverbank | Software | PyQt | What is PyQt?" [Online]. Available: <https://riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro>. [Consultada: 19-May-2017].
- [41] D. M. Woebbecke, G. E. Meyer, K. Von Bargen, and D. A. Mortensen, "Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions," *Trans. ASAE*, vol. 38, no. 1, pp. 259–269, 1995.
- [42] L. Campo Ramírez and Jesús Moreno-González, "Aplicación de herbicidas en el cultivo del maíz," 2015. [Online]. Available: <http://www.campogalego.com/es/leche/aplicacion-de-herbicidas-en-el-cultivo-del-maiz/>. [Consultada: 15-May-2017].

ANEXOS

CÓDIGO PARA APERTURA DE INTERFAZ

```
#!/coding=utf-8
import sys
from preensalico01 import *
from portada import *
from agenda import *
import pyown
from maiera import *
import cv2
import serial
import time
import numpy as np
from serial import SerialException
from PyQt4.QtGui import QImage
from PyQt4.QtGui import QPixmap
from PyQt4.QtCore import *
from pyown.exceptions import QWTEror

reload(sys)
sys.setdefaultencoding('utf8')

OWN = pyown.QWY('a3b5c256aba4e318d203660c8a5fc6c4', language='es')

class Ventana(QGui.QMainWindow):
    def __init__(self, parent=None):
        QGui.QWidget.__init__(self, parent)
        self.ui = Ui_Portada()
        self.ui.setupUi(self)
        self.showMaximized()
        QtCore.QObject.connect(self.ui.entratiempo, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.abrircalina)
        QtCore.QObject.connect(self.ui.agenda, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.abriragenda)
        QtCore.QObject.connect(self.ui.detmal, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.abrirdetmal)

    def abrircalina(self):
        self.ventana5 = Ventana3(self)
        self.ventana3.closed.connect(self.show)
        self.ventana3.show()
        self.hide()

    def abrircalina(self):
        self.ventana2 = Ventana2(self)
        self.ventana2.closed.connect(self.show)
        self.ventana2.show()
        self.hide()

    def abriragenda(self):
        self.ventana1 = Ventana1(self)
        self.ventana1.closed.connect(self.show)
        self.ventana1.show()
        self.hide()

class Ventana1(QGui.QMainWindow):
    def __init__(self, parent=None):
        QGui.QWidget.__init__(self, parent)
        self.ui = Ui_Agenda()
```

```

self.ui.setupUI(self)

self.showMaximized()
self.initUI()
self.ui.acciones1.setEnabled(False)
QtCore.QObject.connect(self.ui.agregar, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.boton)
self.ui.guardar.setEnabled(False)
QtCore.QObject.connect(self.ui.guardar, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.boton2)
def initUI(self):
self.ui.calen.clicked[QtCore.QDate].connect(self.mostrar)
self.ui.dia.setText("BUEN DIA")
self.ui.acciones1.setText("SELECCIONE UNA FECHA")

def mostrar(self):
global date
date = self.ui.calen.selectedDate()
self.ui.dia.setText(date.toString())
global fecha
fecha = date
try:
with open(date.toString(), 'r') as archivo:
lineas = archivo.read()
self.ui.acciones1.setText(lineas)
archivo.close()
except IOError:
self.ui.acciones1.setText("DIA SIN EVENTOS")

def boton(self):
self.ui.calen.setEnabled(False)
self.ui.acciones1.setEnabled(True)
self.ui.guardar.setEnabled(True)
self.ui.agregar.setEnabled(False)
global archivo
archivo = open(fecha.toString(), 'w')

def boton2(self):
actos = self.ui.acciones1.toPlainText()
archivo.write(actos)
archivo.close()
self.ui.guardar.setEnabled(False)
self.ui.agregar.setEnabled(True)
self.ui.calen.setEnabled(True)
self.ui.acciones1.setEnabled(False)

class Ventana2(QtGui.QMainWindow):
def __init__(self, parent=None):
QtGui.QWidget.__init__(self, parent)
self.ui = Ui.FormosticocDelUlna()
self.ui.setupUI(self)

self.showMaximized()
self.clima()
QtCore.QObject.connect(self.ui.cerrar, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.clima)

def clima(self):
try:
texto = (self.ui.editciudad.text())

hora = pyowm.timeut('s.now('iso')

```



```

observation = own.weather_at_place(str(texlo))
lc = own.daily_forecast(str(locto), limit=5)
f = fc.get_forecast()
w = observation.get_weather()
temperature = w.get_temperature('celsius')['temp']
windv = w.get_wind()['speed']
windd = w.get_wind()['deg']
humidity = w.get_humidity()
rain = w.get_rain()
salida = w.get_sunrise_time('iso')
alborada = w.get_sunset_time('iso')
presion = w.get_pressure()['press']
Nubes = w.get_clouds()
stat = w.get_detailed_status()
visibilidad = w.get_visibility_distance()

l = observation.get_location()
ciudad = l.get_name()
pais = l.get_country()
longitud = l.get_lon()
latitud = l.get_lat()
ID = l.get_ID()

self.ui.hora.setText(str(hora))
self.ui.temperatura.setText(str(temperature))
self.ui.humedad.setText(str(humidity) + ' %')
self.ui.presion.setText(str(presion) + ' hpa')
self.ui.windv.setText(str(windv))
self.ui.windd.setText(str(windd) + ' °')
self.ui.nubes.setText(str(Nubes) + ' %')
self.ui.stat.setText(str(stat))
self.ui.rain.setText(str(rain))
self.ui.salida.setText(str(salida))
self.ui.alborada.setText(str(alborada))
self.ui.visibilidad.setText(str(visibilidad))

self.ui.ciudad.setText(str(ciudad))
self.ui.pais.setText(str(pais))
self.ui.latitud.setText(str(latitud))
self.ui.longitud.setText(str(longitud))
self.ui.ID.setText(str(ID))

a = f.get(0)
a1 = f.get(1)
a2 = f.get(2)
a3 = f.get(3)
a4 = f.get(4)

c = a.get_detailed_status()
d = a.get_wind()['speed']
e = a.get_temperature('celsius')['max']
f = a.get_temperature('celsius')['min']
g = a.get_temperature('celsius')['morn']
h = a.get_temperature('celsius')['eve']
i = a.get_temperature('celsius')['night']
k = a.get_humidity()
l = a.get_clouds()
n = a.get_pressure()['press']

self.ui.trax.setText(str(c))
self.ui.min.setText(str(f))
self.ui.max.setText(str(g))

```

```

self.ui.ttar.setText(str(h))
self.ui.tnoc.setText(str(i))
self.ui.nubespor.setText(str(l))
self.ui.estadoc.setText(str(c))
self.ui.velvi.setText(str(d))
self.ui.pres.setText(str(m))
self.ui.humedad.setText(str(k))

a1 = a1.get_reference_time('iso')
c1 = a1.get_detailed_status()
d1 = a1.get_wind()['speed']
e1 = a1.get_temperature('celsius')['max']
f1 = a1.get_temperature('celsius')['min']
g1 = a1.get_temperature('celsius')['morn']
h1 = a1.get_temperature('celsius')['eve']
i1 = a1.get_temperature('celsius')['night']
k1 = a1.get_humidity()
l1 = a1.get_clouds()
m1 = a1.get_pressure()['press']

self.ui.prono2.setText(str(b1))
self.ui.tmax_2.setText(str(e1))
self.ui.tmin_2.setText(str(f1))
self.ui.tma_2.setText(str(g1))
self.ui.ttar_2.setText(str(h1))
self.ui.tnoc_2.setText(str(i1))
self.ui.nubespor_2.setText(str(l1))
self.ui.estadoc_2.setText(str(c1))
self.ui.velvi_2.setText(str(d1))
self.ui.pres_2.setText(str(m1))
self.ui.humedad_2.setText(str(k1))

a2 = a2.get_reference_time('iso')
c2 = a2.get_detailed_status()
d2 = a2.get_wind()['speed']
e2 = a2.get_temperature('celsius')['max']
f2 = a2.get_temperature('celsius')['min']
g2 = a2.get_temperature('celsius')['morn']
h2 = a2.get_temperature('celsius')['eve']
i2 = a2.get_temperature('celsius')['night']
k2 = a2.get_humidity()
l2 = a2.get_clouds()
m2 = a2.get_pressure()['press']

self.ui.prono3.setText(str(b2))
self.ui.tmax_3.setText(str(e2))
self.ui.tmin_3.setText(str(f2))
self.ui.tma_3.setText(str(g2))
self.ui.ttar_3.setText(str(h2))
self.ui.tnoc_3.setText(str(i2))
self.ui.nubespor_3.setText(str(l2))
self.ui.estadoc_3.setText(str(c2))
self.ui.velvi_3.setText(str(d2))
self.ui.pres_3.setText(str(m2))
self.ui.humedad_3.setText(str(k2))

a3 = a3.get_reference_time('iso')
c3 = a3.get_detailed_status()
d3 = a3.get_wind()['speed']
e3 = a3.get_temperature('celsius')['max']
f3 = a3.get_temperature('celsius')['min']
g3 = a3.get_temperature('celsius')['morn']
h3 = a3.get_temperature('celsius')['eve']

```



```

i3 = a3.get_temperature('celsius')['night']
k3 = a3.get_humidity()
l3 = a3.get_clouds()
m3 = a3.get_pressure()['press']

self.ui.prono4.setText(str(b3))
self.ui.tmax_4.setText(str(e3))
self.ui.tmin_4.setText(str(f3))
self.ui.tma_4.setText(str(g3))
self.ui.ttar_4.setText(str(h3))
self.ui.tnoc_4.setText(str(i3))
self.ui.nubespor_4.setText(str(j3))
self.ui.estadoc_4.setText(str(c3))
self.ui.velvi_4.setText(str(d3))
self.ui.pres_4.setText(str(m3))
self.ui.humedad_4.setText(str(k3))

b4 = a4.get_reference_time('iso')
c4 = a4.get_detailed_status()
d4 = a4.get_wind()['speed']
e4 = a4.get_temperature('celsius')['max']
f4 = a4.get_temperature('celsius')['min']
g4 = a4.get_temperature('celsius')['morn']
h4 = a4.get_temperature('celsius')['eve']
i4 = a4.get_temperature('celsius')['night']
k4 = a4.get_humidity()
l4 = a4.get_clouds()
m4 = a4.get_pressure()['press']

self.ui.prono5.setText(str(c4))
self.ui.tmax_5.setText(str(e4))
self.ui.tmin_5.setText(str(f4))
self.ui.tma_5.setText(str(g4))
self.ui.ttar_5.setText(str(h4))
self.ui.tnoc_5.setText(str(i4))
self.ui.nubespor_5.setText(str(j4))
self.ui.estadoc_5.setText(str(c4))
self.ui.velvi_5.setText(str(d4))
self.ui.pres_5.setText(str(m4))
self.ui.humedad_5.setText(str(k4))

except api_call_error.API_CallError:
    self.ui.humedad_5.setText("internet")
    print("sin internet")

class Ventana3(QtGui.QMainWindow):
    def __init__(self, parent=None):
        QtGui.QWidget.__init__(self, parent)
        self.ui = Ui_Forma3()
        self.ui.setupUi(self)
        self.showMaximized()
        self.ui.domin.setEnabled(False)
        QtCore.QObject.connect(self.ui.pasa, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.prabarcamara)
        QtCore.QObject.connect(self.ui.pcon, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.precarcamara)
        QtCore.QObject.connect(self.ui.pasp, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.prubaraspores)
        QtCore.QObject.connect(self.ui.doma, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.determinamara)
        self.ui.acabar.setEnabled(False)
        QtCore.QObject.connect(self.ui.iniciar, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.iniciarrecorrido)

```

```

QtCore.QObject.connect(self.ui.acabar, QtCore.SIGNAL('clicked()'),
self.acabarrecorrido)

```

#En esta sección se realiza la detección y eliminación de agua
def iniciarrecorrido(self):

```

    try:
        puer=self.ui.puerto.currentText()
        print(puer)
        self.ui.ocam.setEnabled(False)
        self.ui.pcam.setEnabled(False)
        self.ui.pcom.setEnabled(False)
        self.ui.pasp.setEnabled(False)
        self.ui.iniciar.setEnabled(False)
        self.ui.acabar.setEnabled(True)
        self.cam=cv2.VideoCapture(0)

        aspensor = cv2.imread('aspensor.png')
        global kernel
        kernel=cv2.ones((3,3),np.uint8)
        global kernel2
        kernel2=cv2.ones((5,5),np.uint8)
        self.cam.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 960)
        self.cam.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 720)
        global ser
        p=str(self.ui.puerto.currentText())
        ser = serial.Serial(p,9600)
        time.sleep(1)
        self.ui.diagnostico.setText("Controlador Detectado")
        self.timer = QTimer()
        self.timer.timeout.connect(self.continuarrecorrido)
        self.timer.start(20)

    except serial.SerialException:
        self.ui.diagnostico.setEnabled(True)
        self.ui.pcam.setEnabled(True)
        self.ui.pcom.setEnabled(True)
        self.ui.pasp.setEnabled(True)
        self.ui.iniciar.setEnabled(True)
        self.ui.acabar.setEnabled(False)
        self.ui.diagnostico.setText("Se Ha Detectado Un Problema En
Comunicacion Con El Controlador")

```

```

def continuarrecorrido(self):
    if self.ui.post.isChecked():

```

```

        try:
            frame=self.cam.read()
            frame = cv2.flip(frame,1)
            aspensor = cv2.imread('aspensor.png')
            cerrado = cv2.imread('cerrado.png')
            cerrado = cv2.cvtColor(cerrado, cv2.COLOR_BGR2RGB)
            cerrado = QImage(cerrado, cerrado.shape[1],
            cerrado.shape[0], cerrado.strides[0], QImage.Format_RGB888)
            self.ui.asp1.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
            self.ui.asp2.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
            self.ui.asp3.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
            self.ui.asp4.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
            self.ui.asp5.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))

            frame = cv2.flip(frame, 1)

            l0='f'
            l1='g'

```



```

12='h'
13='i'
14='j'

height,width=frame.shape[:2]

xp=width/3
yp=height

font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX

hsv = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)
blur = cv2.GaussianBlur(frame, (5,5),0)

randomx=np.array([26,65,212])
randomy=np.array([14,39,158])

masksrc=cv2.inRange(hsv,randomx,randomy)
erosion = cv2.erode(masksrc,kernel,iterations = 3)
dilation = cv2.dilate(erosion,kernel2,iterations = 11)

cv2.line(dilation,(xp,0),(xp,yp),(0,0,0),2)
cv2.line(dilation,(2*xp,0),(2*xp,yp),(0,0,0),2)
cv2.line(dilation,(3*xp,0),(3*xp,yp),(0,0,0),2)
cv2.line(dilation,(4*xp,0),(4*xp,yp),(0,0,0),2)

(ret,contours,
hierarchy)=cv2.findContours(dilation,cv2.RETR_EXTERNAL,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

cv2.putText(frame,'1',(10,520),font,2,(0,0,0),2,cv2.LINE_AA)
cv2.putText(frame,'2',(222,520),font,2,(0,0,0),2,cv2.LINE_AA)
cv2.putText(frame,'3',(344,520),font,2,(0,0,0),2,cv2.LINE_AA)
cv2.putText(frame,'4',(466,520),font,2,(0,0,0),2,cv2.LINE_AA)
cv2.putText(frame,'5',(588,520),font,2,(0,0,0),2,cv2.LINE_AA)

cv2.line(frame,(xp,0),(xp,yp),(255,255,255),2)
cv2.line(frame,(2*xp,0),(2*xp,yp),(255,255,255),2)
cv2.line(frame,(3*xp,0),(3*xp,yp),(255,255,255),2)
cv2.line(frame,(4*xp,0),(4*xp,yp),(255,255,255),2)

asperson = cv2.cvtColor(asperson,cv2.COLOR_BGR2RGB)
asperson = QImage(asperson,asperson.shape[1],
asperson.shape[0],asperson.strides[0],QImage.Format_RGB888)

for pic,contour in enumerate(contours):
    area=cv2.contourArea(contour)
    moments=cv2.moments(contour)

    if(area>2000):
        x,y,w,h=cv2.boundingRect(contour)
        x1 = int(moments['m10']/moments['m00'])
        y1 = int(moments['m01']/moments['m00'])
        epsilon = 0.001*cv2.arcLength(contour,True)
        approx = cv2.approxPolyDP(contour,epsilon,1)
        cv2.drawContours(frame,[approx],0,(0,0,255),4)

        if(area>2000) and x1>=0 and x1<=191:
            cv2.putText(frame,'1',(10,520),font,
2,(0,255,255),2,cv2.LINE_AA)
            lu='a'
            self.ui.appl.setPixmap(QPixmap.fromImage(asperson))

        if (area>2000) and x1>=192 and x1<=383:

```

```

        cv2.putText(frame, '2', (222, 520), font,
2, (0, 255, 255), 2, cv2.LINE_AA)
        l1='b'

        self.ui.asp2.setPixmap(QPixmap.fromImage(asperso2))

        if (area>2000) and x1>=304 and x1<=570:
            cv2.putText(frame, '3', (414, 520), font,
2, (0, 255, 255), 2, cv2.LINE_AA)
            l2='c'
            self.ui.asp3.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))

        if (area>2000) and x1>=576 and x1<=767:
            cv2.putText(frame, '4', (606, 520), font,
2, (0, 255, 255), 2, cv2.LINE_AA)
            l3='d'
            self.ui.asp4.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))

        if (area>2000) and x1>=768 and x1<=960:
            cv2.putText(frame, '5', (788, 520), font,
2, (0, 255, 255), 2, cv2.LINE_AA)
            l4='e'
            self.ui.asp5.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))

        self.lista=(l0, l1, l2, l3, l4)
        frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
        image = QImage(frame, frame.shape[1],
frame.shape[0], frame.strides[0], QImage.Format_RGB888)
        self.ui.camara.setPixmap(QPixmap.fromImage(image))
        /self.write(self.lista)

    except AttributeError:
        self.camara.recorrer()
        self.ui.cam.setEnabled(True)
        self.ui.pcam.setEnabled(True)
        self.ui.pcom.setEnabled(True)
        self.ui.pasp.setEnabled(True)
        self.ui.inicio.setEnabled(True)
        self.ui.apagar.setEnabled(False)
        self.ui.diagnostico.setText("Camara Apagada o Sin Conexión")

elif self.ui.pre.isChecked():
    try:
        ret, frame=self.cam.read()
        frame = cv2.flip(frame, 1)
        aspersor = cv2.imread('aspersor.png')
        cerrado = cv2.imread('cerrado.png')
        cerrado = cv2.cvtColor(cerrado, cv2.COLOR_BGR2RGB)
        cerrado = QImage(cerrado, cerrado.shape[1],
cerrado.shape[0], cerrado.strides[0], QImage.Format_RGB888)
        self.ui.asp1.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
        self.ui.asp2.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
        self.ui.asp3.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
        self.ui.asp4.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
        self.ui.asp5.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))

        frame = cv2.flip(frame, 1)

        l0='f'
        l1='g'
        l2='h'
        l3='i'
        l4='j'

```



```

height,width=frame.shape[:2]

xp=width/5
yp=height

font=cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX

b=frame[:,:,0]
g=frame[:,:,1]
r=frame[:,:,2]

b=np.float64(b)
g=np.float64(g)
r=np.float64(r)

b=b/255
g=g/255
r=r/255

den=b+g+r

b=b/den
g=g/den
r=r/den

cg=(2*(g))-r-b

randoms=np.array([.60])
rangonr=np.array([.03])

mask=cv2.inRange(sg,rangonr,rangomax)

cv2.line(mask,(xp,0),(xp,yp),(0,0,0),2)
cv2.line(mask,(2*xp,0),(2*xp,yp),(0,0,0),2)
cv2.line(mask,(3*xp,0),(3*xp,yp),(0,0,0),2)
cv2.line(mask,(4*xp,0),(4*xp,yp),(0,0,0),2)

[ret,contours,
hierarchy]=cv2.findContours(mask,cv2.RETR_TREE,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

cv2.putText(frame,'1',(10,520),font,2,(0,0,0),2,cv2.LINE_AA)
cv2.putText(frame,'2',(22,520),font,2,(0,0,0),2,cv2.LINE_AA)
cv2.putText(frame,'3',(34,520),font,2,(0,0,0),2,cv2.LINE_AA)
cv2.putText(frame,'4',(46,520),font,2,(0,0,0),2,cv2.LINE_AA)
cv2.putText(frame,'5',(58,520),font,2,(0,0,0),2,cv2.LINE_AA)

cv2.line(frame,(xp,0),(xp,yp),(255,255,255),2)
cv2.line(frame,(2*xp,0),(2*xp,yp),(255,255,255),2)
cv2.line(frame,(3*xp,0),(3*xp,yp),(255,255,255),2)
cv2.line(frame,(4*xp,0),(4*xp,yp),(255,255,255),2)

aspensor=cv2.cvtColor(aspensor,cv2.COLOR_BGR2RGB)
aspensor=QImage(aspensor,aspensor.shape[1],
aspensor.shape[0],aspensor.strides[0],QImage.Format_RGB888)

for p1c,contour in enumerate(contours):
    mca=cv2.contourArea(contour)
    moments=cv2.moments(contour)

    if(mca>2000):
        x,y,w,h=cv2.boundingRect(contour)
        x1=int(moments['m10']/moments['m00'])

```

```

        y0 = int(momenta['m01']/momenta['m00'])
        epsilon = .0001*cv2.arcLength(contour,True)
        approx = cv2.approxPolyDP(contour,epsilon,True)
        cv2.drawContours(frame,[approx],0,(0,0,255),2)

        if (area>2000) and x1>=0 and x1<=191:
            cv2.putText(frame,'1',(10,520),font,
2, (0,255,255),2,cv2.LINE_AA)
            l1='a'
            self.ui.asp1.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))

        if (area>2000) and x1>=192 and x1<=383:
            cv2.putText(frame,'2',(222,520),font,
2, (0,255,255),2,cv2.LINE_AA)
            l1='b'

            self.ui.asp2.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))

        if (area>2000) and x1>=384 and x1<=575:
            cv2.putText(frame,'3',(414,520),font,
2, (0,255,255),2,cv2.LINE_AA)
            l2='c'
            self.ui.asp3.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))

        if (area>2000) and x1>=576 and x1<=767:
            cv2.putText(frame,'4',(608,520),font,
2, (0,255,255),2,cv2.LINE_AA)
            l3='d'
            self.ui.asp4.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))

        if (area>2000) and x1>=768 and x1<=960:
            cv2.putText(frame,'5',(788,520),font,
2, (0,255,255),2,cv2.LINE_AA)
            l4='e'
            self.ui.asp5.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))

        self.lista=(l0,l1,l2,l3,l4)
        frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
        image = QImage(frame, frame.shape[1],
frame.shape[0],frame.strides[0], QImage.Format_RGB888)
        self.ui.camara.setPixmap(QPixmap.fromImage(image))
        # ser.write(self.lista)
    except AttributeError:
        self.acabarrecorrido()
        self.ui.cam.setEnabled(True)
        self.ui.pcam.setEnabled(True)
        self.ui.pcam.setEnabled(True)
        self.ui.pcam.setEnabled(True)
        self.ui.pasp.setEnabled(True)
        self.ui.iniciar.setEnabled(True)
        self.ui.acabar.setEnabled(False)
        self.ui.diagnostico.setText("Camara Apagada o Sin Conexión")

def acabarrecorrido(self):
    self.ui.cam.setEnabled(True)
    self.ui.pcam.setEnabled(True)
    self.ui.pcam.setEnabled(True)
    self.ui.pcam.setEnabled(True)
    self.ui.pasp.setEnabled(True)
    self.ui.iniciar.setEnabled(True)
    self.ui.acabar.setEnabled(False)
    self.ui.diagnostico.setText("Recorrido Terminado")
    #ser.close()

```



```

        self.timer.stop()
        self.cam.release()

#En esta seccion se realiza la prueba de la camara
def probarcamara(self):
    self.ui.dcam.setEnabled(True)
    self.ui.pcam.setEnabled(False)
    self.ui.pcam.setEnabled(False)
    self.ui.pasp.setEnabled(False)
    self.ui.iniciar.setEnabled(False)
    self.ui.acabar.setEnabled(False)
    self.cam=cv2.VideoCapture(1)
    #ret = self.cam.read(3,1200)
    #ret = self.cam.read(4,720)
    self.cam.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 960)
    self.cam.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 720)

    self.timer = QTimer()
    self.timer.timeout.connect(self.mostrarcamara)
    self.timer.start(30)
def mostrarcamara(self):
    try:
        ret, frame = self.cam.read()
        frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)

        print("hola")
        image = QImage(frame, frame.shape[1],
frame.shape[0],frame.strides[0], QImage.Format_RGB888)
        self.ui.camara.setPixmap(QPixmap.fromImage(image))

    except cv2.error:
        self.detenercamara()
        self.ui.diagnostico.setText("Camara Apagada o Sin Conexión")

def detenercamara(self):
    self.ui.diagnostico.setText("Finalizada Prueba De Cámara")
    self.ui.dcam.setEnabled(False)
    self.ui.pcam.setEnabled(True)
    self.ui.pcam.setEnabled(True)
    self.ui.pasp.setEnabled(True)
    self.ui.iniciar.setEnabled(True)
    self.ui.acabar.setEnabled(True)
    self.timer.stop()
    self.cam.release()

#En esta seccion se realiza la prueba de comunicación con serial
def probarcomunicacion(self):
    try:
        p=str(self.ui.yuertos.currentText())
        ser = serial.Serial(p,9600)
        time.sleep(1)
        self.ui.diagnostico.setText("Controlador Detectado")
        ser.close()

    except serial.SerialException:
        self.ui.diagnostico.setText("Se Ha Detectado Un Problema En
Comunicacion Con El Controlador")

#En esta seccion se realiza la prueba de aspersores
def probaraspersores(self):
    try:
        self.ui.diagnostico.setText("Controlador Detectado, Revise El Buen
Funcionamiento De Aspersores")

```

```

p=str(self.ui.puerto.currentText())
ser = serial.Serial(p, 9600)
time.sleep(1)

cerrado = cv2.imread('cerrado.png')
cerrado = cv2.cvtColor(cerrado, cv2.COLOR_BGR2RGB)
cerrado = QImage(cerrado, cerrado.shape[1],
cerrado.shape[0], cerrado.strides[0], QImage.Format_RGB888)
self.ui.asp1.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
self.ui.asp2.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
self.ui.asp3.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
self.ui.asp4.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
self.ui.asp5.setPixmap(QPixmap.fromImage(cerrado))
l0='a'
l1='b'
l2='c'
l3='d'
l4='e'
lista=(l0,l1,l2,l3,l4)
ser.write(lista)
time.sleep(2)
aspersor = cv2.imread('aspersor.png')
aspersor = cv2.cvtColor(aspersor, cv2.COLOR_BGR2RGB)
aspersor = QImage(aspersor, aspersor.shape[1],
aspersor.shape[0], aspersor.strides[0], QImage.Format_RGB888)
self.ui.asp1.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))
self.ui.asp2.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))
self.ui.asp3.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))
self.ui.asp4.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))
self.ui.asp5.setPixmap(QPixmap.fromImage(aspersor))
l0='f'
l1='g'
l2='h'
l3='i'
l4='j'
lista=(l0,l1,l2,l3,l4)
ser.write(lista)
ser.close()

except serial.SerialException:
    self.ui.diagnostico.setText("Se Ha Detectado Un Problema De
Comunicación Con El Controlador De Aspersores")

if __name__ == '__main__':
    app = QtGui.QApplication(sys.argv)
    ventana = Ventana()
    ventana.show()
    sys.exit(app.exec_())

```

DATASHEET CÁMARA

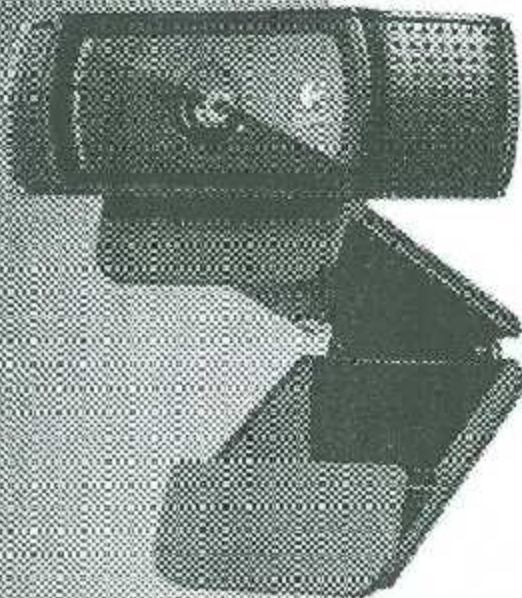


Logitech HD Webcam C920

Full HD 1080p video calling. More text, smoother and better on more computers.

- HD 720p video calling on most major IM applications and Logitech Meet™ HD
- Full HD 1080p recording with built-in HD output to Facebook™, Twitter™ and YouTube™
- Carl Zeiss® optics with 20-step autofocus
- Two mics positioned for natural stereo audio
- H.264 video encoding

Logitech HD Pro Webcam C920: Full HD 1080p video that's better, sharper and clearer on more computers. You'll see more text on more screens and chat that way with HD 720p video calling. For those so busy, save the hassle you can avoid a lot of HD 720p video clip. It works on Facebook™, Twitter™ and YouTube™ with our 1080p HD video encoding, clear and steady thanks to Carl Zeiss® optics and HD auto autofocus. The two mics are positioned for natural stereo audio. More, you'll see, hear, understand HD video outside thanks to the H.264 video encoding.



Logitech Meet™ HD



Logitech Meet™ HD

Logitech

HD Webcam C920

Package open features

	Primary pack	Master shipping carton
Part # 5267	950-027701	NA
Qty. Pcs	1000 (500/500) (100/100)	1000 (500/500) (100/100)
Part # 5268	950-027702	NA
Qty. Pcs	1000 (500/500) (100/100)	1000 (500/500) (100/100)
Part # 5269	950-027703	NA
Qty. Pcs	1000 (500/500) (100/100)	1000 (500/500) (100/100)
Weight	74.2 g	93.00 g
Length	104.0 mm	87.0 mm
Width	101.0 mm	140.0 mm
Height / depth	32.00 mm	35.00 mm
Volume	250 cm ³	0.0004 m ³
Primary pack	1	NA
Primary carton	0	NA
Primary volume	0	1
Primary volume ratio	0	1
Spoke (SKU)	304	06
Manufacturer ID#	7030	004
Condition #01	0000	0000
Condition #02 (C)	0000	0000

Technical Specifications

- Full HD 1080p video coding (up to 30p) & 720p video with the latest version of Skype for Windows
- 720p HD video coding (up to 30p) & 720p video with supported apps
- Full HD video recording (up to 30p) & 720p video
- Photo up to 15 megapixels (software enabled)
- Logitech Focus Dial™ Technology
- H.264 video compression
- Call Detect™ (up to 10 calls) automatic
- Quick start (video on) with one click
- Works with Windows 7 and later
- Vx Series USB 3.0 certified (USB 3.0 ready)

- Pre-installed software for the latest 32-bit or 64-bit versions

Logitech Webcam Software**

- Video and photo capture
- Photo Flashlight, Zoom™ and Cropping™ HD video (optional software)
- Logitech Webcam™

* HD video coding requires installation of QuickTime.

** Requires installation of included software.

*** Logitech HD HD video supports HD 1080p video coding or H.264 video.



© 2012 Logitech, Inc. Logitech, the Logitech logo, and other marks are trademarks of Logitech, Inc. in the U.S. and other countries. Windows, Windows 7, Windows 8, and Windows 8.1 are trademarks of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Skype is a trademark of Skype. Zoom is a trademark of Zoom. Flashlight is a trademark of Logitech, Inc. Cropping is a trademark of Logitech, Inc. H.264 is a trademark of Intel Corporation. All other marks are the property of their respective owners. Logitech, the Logitech logo, and other marks are trademarks of Logitech, Inc. in the U.S. and other countries.



Package Contents

- Webcam with 18-meter (59-foot) cable
- User documentation
- 2-year limited hardware warranty and full product support

System Requirements

- Windows® XP (SP3) or higher
- Windows Vista® or Windows 7 (32-bit or 64-bit)

For HD 1080p video recording:

- 2.0 GHz Intel Core 2 Duo processor
- 2 GB RAM or more
- Hard drive space for recorded video
- USB 2.0 port (USB 3.0 ready)

Recommended requirements for Full HD 1080p and 720p video coding:

- 1 GHz processor (Intel® or AMD)
- 2 GB or more RAM (recommended for 720p)
- Recommended for H.264 and H.264 video coding

Visit your preferred retail listing provider's website for more information on system and performance requirements.

