Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Instrumentación y Control Automático

La Agricultura de Precisión en Sistemas de Producción bajo Invernadero: Algoritmos de Visión Artificial Aplicados al monitoreo de Pestes

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias en Instrumentación y Control Automático

Presenta:
Ing. Luis Octavio Solís Sánchez

Dirigido por:
Dr. Pedro Daniel Alaniz Lumbreras

SINODALES

Dr. Pedro Daniel Alaniz Lumbreras Presidente	Firma
Dr. Gilberto Herrera Ruiz Secretario	Firma
Dr. Rodrigo Castañeda Miranda Vocal	Firma
M. en C. Roberto Augusto Gómez Loenzo Suplente	Firma
M. en C. Juan José García Escalante Suplente	Firma

Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Director de la Facultad

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Marzo de 2007
México

Dedicatoria

Especialmente a mi novia Celina por su cariño y comprensión.

A mis padres Ernesto Solís y Guadalupe Sánchez.

A mis hermanos Belinda y Ernesto.

A mis amigos.

4 Desarrollo del algoritmo 38

4.1 Clasificación *40*

4.2 Técnicas de clasificación *40*
4.2.1 Clasificación supervisada 41
4.2.2 Clasificación Look-up 41
4.2.3 Grupos (Cluster) 41

4.3 Algoritmo *42*

5 Resultados y discusión 45

5.1 Experimento *49*

5.2 Conclusiones *60*

6 Bibliografía 63

7 Apéndice A. Programa 65

8 Apéndice B. Publicación 70

Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Áfidos	3
Figura 2. Pulgón (Aphis gossypii)	3
Figura 3. Araña roja (Tetranychus urticae)	4
Figura 4. Mosca blanca	5
Figura 5. Daños en la hoja	8
Figura 6. Hoja dañada	8
Figura 7. Hoja con negrilla	9
Figura 8. Radar	15
Figura 9. Sistema auto guía	19
Figura 10. Vecindad	23
Figura 11. Trayectoria arco-conexa	24
Figura 12. Elementos estructurales	30
Figura 13. Elemento estructural	31
Figura 14. Gradiente morfológico	32
Figura 15. Etiquetado	33
Figura 16. Proceso de etiquetado	33
Figura 17. Filtrado por área	36
Figura 18. Trampa para insectos	39
Figura 19. Diagrama general del sistema de monitoreo	42
Figura 20. Sistema de monitoreo	44
Figura 21. Semillas	45
Figura 22. Resultados obtenidos referentes al área-excentricidad	46
Figura 23. Insectos segmentados	47
Figura 24. Moscas blancas con excentricidad similar y área diferente	48
Figura 25. Invernadero tipo capilla de la compañía Richel	49
Figura 26. Croquis de ubicación del invernadero	50
Figura 27. Croquis de distribución dentro del invernadero	51
Figura 28. Colocación de trampas	52
Figura 29. Distribución de las trampas	52
Figura 30. Caja para transportar las trampas	53
Figura 31. Gradiente de magnitud	54
Figura 32. Segmentación	55
Figura 33. Eliminación de puntos aislados	55
Figura 34. Etiquetado	56
Figura 35. Grafica de excentricidad vs. área del primer etiquetado	57
Figura 36. Imagen original indicando los centros de masa	57
Figura 37. Grafica de la excentricidad de la mosca blanca	58
Figura 38. Correlación del conteo de mosca blanca	60

Índice de Tablas

Página

Tabla 1. Resultado del conteo de objetos de las trampas 59

1 Introducción

La Agricultura de Precisión es un término muy usado actualmente en el ambiente agrícola; al oír agricultura de precisión se puede concluir erróneamente que es la agricultura en la cual los satélites indican lo que hay que hacer en el campo cultivado. Sin embargo, el hecho es que la agricultura de precisión a través de la información: los sensores colocados en el cultivo, imágenes de satélite y datos históricos de cosechas anteriores, permite dar el tratamiento agronómico más apropiado a cada zona de campo cultivada, tanto desde el punto de vista económico-productivo como ambiental.

Los cambios tecnológicos que se producen en la agricultura, por lo general, están directamente relacionados con la rentabilidad. Ejemplo de esto son: la adopción de la semilla híbrida de maíz, la siembra directa y la biotecnología entre otros. La agricultura de precisión no es un sistema de transporte ni disponibilidad de créditos, si no que es una tecnología con la que se buscan producir a bajo costo.

El potencial de la agricultura de precisión esta dirigida a reducir los costos en la producción de granos, aumentar la productividad y hacer más eficiente el uso de los insumos. En un sentido más amplio, la agricultura de precisión permite administrar los insumos en el tiempo y en el espacio, optimizar la logística, supervisar el trabajo de los empleados en el campo, manejar los riesgos de la producción, vender productos diferenciados, proveer los productos para el consumo humano y documentar los insumos aplicados para cumplir con las normas de protección ambiental. La monitorización del rendimiento también se usa como herramienta para diagnosticar malezas, plagas, enfermedades, problemas de drenaje y fertilidad, diferencias en sistemas de labranza, y por lo tanto, como una herramienta para la toma de decisiones en la elección de semillas híbridas o diferentes tipos de pesticidas.

La necesidad de mejorar la calidad de los productos agrícolas es un factor preponderante, puesto que es necesario elevar la productividad y la

calidad de los mismos para acceder a los mercados internacionales, muchas de las veces llegando a tener altos costos de producción. Sin embargo, hoy en día es posible lograr un mayor nivel de producción y calidad mediante el uso de la agricultura de precisión (Bongiovanni, 2003).

Explorar y controlar los insectos forman la piedra angular de la Administración Integrada de Pestes (Integrated Pest Management, por sus siglas en ingles IPM) en los invernaderos. El IPM es una estrategia de la administración del control de insectos que pretende optimizar la lucha contra las plagas de insectos en una manera económica y ambientalmente sana. Generalmente la IPM consiste en cuatro pasos: exploración, identificación de la peste, tiempo de aplicación del insecticida y registro de las técnicas aplicadas, con el fin de formar una base de datos para estudios subsecuentes.

Daremos una descripción de las principales plagas que afectan a los sistemas de producción bajo invernadero así como los daños que pueden llegar a causar tratándolo de ilustrar lo mejor posible.

1.1 Plagas

1.1.1 Áfidos

Los áfidos (*Figura 1*) insectos succionadores que se alimentan de los líquidos de la planta. La presencia de áfidos en pieles, en hojas o flores pueden reducir el valor de la plantas.

Las infestaciones pesadas reducirán el crecimiento de la planta. El zumo dulce producido por los áfidos deja marcadas las hojas y la fruta pegajosas y es un sustrato para el hongo hollinosa negro. Muchas especies del áfido transmiten virus que afectan verdura y plantas decorativas. El áfido tiene tres etapas de desarrollo que son el huevo, ninfa y adulto.

En invernaderos y áreas tropicales, los adultos son todas hembras que producen nuevas moscas jóvenes. En el invierno los áfidos están como

huevos, que salen del huevo en la primavera como hembras. Los áfidos adultos pueden o no pueden tener alas. Las mejores temperaturas para el desarrollo varían con la especie. La nutrición de la planta afecta el desarrollo de áfido y tamaño. El énfasis de la humedad a menudo aumenta los números de áfido. Las humedades encima de 85% reducen longevidad del áfido verde de melocotón y reproducción.

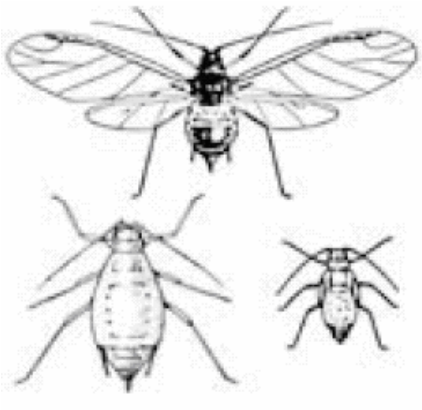


Figura 1. Áfidos

1.1.2 Pulgones

Las poblaciones de pulgón pueden volverse en una plaga en muy poco tiempo. Por eso, es importante controlar los focos a tiempo.

Figura 2. Pulgón (Aphis gossypii)

El pulgón verde del tomate (Macrosiphum euphorbiae) es un pulgón alargado, de 2-4 mm, con patas bastante largas y ojos rojos. Las antenas son más largas que el cuerpo. La cauda es bastante larga. Los largos sifones tienen el extremo oscuro. El color es generalmente verde, pero a veces

amarillento o rosado. Las larvas tienen una línea longitudinal en la espalda. Es notable que el pulgón verde del tomate es muy móvil.

Daños

1. Con su estilete extraen nutrientes de las plantas, debilitándolas. Teniendo manifestaciones en hojas jóvenes dan deformaciones de estas después.
2. Excretan el exceso de azúcar consumido como melaza, sobre la cual crecen hongos de negrilla.
3. Pueden transmitir virus.
4. Pueden introducir sustancias tóxicas.

1.1.3 La araña roja

La araña roja es una plaga que perdona a pocos cultivos en invernadero. Sobre todo en tiempo seco y cálido, una población de arañas rojas puede desarrollarse muy rápido.

Figura 3. Araña roja (Tetranychus urticae)

La araña roja común (Tetranychus urticae) es una plaga en cultivos de todo el mundo. Se diferencia poco de la araña color carmín (Tetranychus cinnabarinus), que se encuentra a veces en tomate, clavel u otras ornamentales. Típicas son las dos manchas oscuras en el abdomen. El macho es más móvil, más pequeño y más delgado que la hembra. En el envés de la hoja la hembra pone huevos esféricos de 0,14 mm. Del huevo nace una larva con solo seis patas, que empieza inmediatamente a succionar savia de la

planta. Después se desarrolla en una protoninfa, en una deuteroninfa y finalmente en un adulto.

Con cada transición de estadio pasa una etapa de reposo, durante la cual el ácaro se fija en la hoja con patas replegadas. Una vez adulto, tarda 0-3 días antes de poner los primeros huevos (período pre-oviposición). La duración de desarrollo total varía mucho con la temperatura, la humedad y la planta huésped. En un ensayo en una hoja de rosa es de 7 días a 30°C, de 17 días a 20°C y de 36 días a 15°C.

A 20°C la hembra pone aproximadamente 40 huevos en total. Bajo circunstancias favorables puede elevarse a 100 huevos. Con tiempo cálido y seco la araña roja puede desarrollarse muy rápido.

Daños

Para alimentarse, la araña roja succiona savia de la planta. Así las células vegetales se decoloran, lo que se nota en la parte superior de la hoja como puntos amarillos. Consecuentemente la planta tiene menos clorofila a su disposición para el crecimiento, y pierde el equilibrio fisiológico. Además, las telarañas causan una pérdida del valor estético en ornamentales.

1.1.4 Las moscas blancas

Figura 4. Mosca blanca

Las moscas blancas (Trialeurodes vaporariorum) de los invernaderos son insectos cubiertos de cera blanca. Tienen un tamaño de aproximado de 1 mm. Las alas están horizontalmente posicionadas y se solapan. La hembra pone sus huevos alargados, de 0,2 mm, en el envés de las hojas de la parte superior de la planta. A los 2 -3 días los huevos adquieren un color negro. La larva que surge es móvil durante algunas horas para ir a buscar un sitio apropiado donde fijarse. Después, en los siguientes estadíos larvarios y en el estadío pupal, ya no se mueve. Los cuatro estadíos larvarios se parecen mucho, pero difieren claramente en tamaño.

Después del cuarto estadío larvario se convierte en pupa. Las pupa es blanca y no translucida. El cuerpo es de forma oval con un borde recto. Al dorsal se presentan muchos filamentos céreos. Finalmente sale una mosca blanca adulta de la pupa a través de un orificio en forma de "T". En tomate el desarrollo de huevo a adulto dura 20 días a 27°C o 38 días a 17°C, pero en otras plantas huésped puede diferir bastante.

1.1.4.1 Morfología y ciclo de vida

Las especies de mosca blanca presentan cuatro estados diferenciados: huevo, larva, pupa y adulto. A su vez el estado de larva tiene tres estadios (I, II y III). Existen algunas discrepancias en la utilización del término pupa, que no lo es realmente, ya que existe alimentación en la primera parte del estado, y la transformación en adultos se produce en la parte final del mismo, sin que exista una muda pupal. Por ello sería más correcto el nombre de ninfas en lugar de larva (I, II y III) y ninfa IV para la pupa. Sin embargo la terminología larva-pupa sigue utilizándose en la actualidad. Los adultos, revestidos de una secreción cérea pulverulenta blanca, tienen los ojos de color rojo oscuro, con dos grupos de omatidias unidas en el centro por una o dos de ellas. En reposo las alas se pliegan sobre el dorso formando un tejadillo casi rectangular. Los huevos son elípticos, asimétricos. Las larvas son ovaladas, aplanadas, de color blanco amarillento y translúcido. En todos los estados el contorno es irregular.

La hembra deposita preferentemente los huevos en el envés de las hojas, unidos a ellas mediante un pedicelo que es insertado en el tejido hospedante, aunque en algunos cultivos prefiere el haz. Los huevos se disponen de forma aislada, en grupos irregulares o en semicírculos, los cuales traza a modo de abanico con su abdomen sin moverse del sitio, pues no abandona su actividad de comer mientras los pone. Pueden o no estar recubiertos por una secreción cerosa blanca. El estado larvario dura aproximadamente un mes. Durante los tres primeros estadios, la larva se alimentará succionando jugo de la planta de tal forma que, en caso de que esta se secase o muriese, ella también moriría. En el primer estadio se mueve unos pocos milímetros para buscar su propio lugar y clava su aparato bucal en el tejido de la planta. El segundo estadio es típico por la cremosa transparencia y por el desarrollo de patas y antenas rudimentarias. En el tercer estadio aumenta el tamaño y es de una transparente cremosidad. En el cuarto y último estado larvario no es necesaria la ingesta de alimento, adquiere un color verde amarillento, empieza a abultarse y se hacen visibles dos ojos rojos. Transcurridas las cuatro semanas emerge el adulto de la pupa.

El tiempo de desarrollo de esta especie de mosca blanca depende principalmente de la temperatura, de la planta huésped y de la humedad. Algunos investigadores han estudiado la duración del desarrollo de huevo a insecto adulto a diferentes temperaturas. En algodón el ciclo suele ser de dos a tres semanas en verano. El tiempo necesario para el desarrollo es menor según aumentan las temperaturas. El desarrollo del insecto es óptimo a temperaturas altas (unos 30-33º C). Por encima de 33º C el ritmo de desarrollo decrece rápidamente de nuevo. No sólo es importante el tipo de planta huésped, sino también la calidad nutricional del cultivo. Situaciones de estrés tales como una baja intensidad luminosa, altas temperaturas y extrema humedad, pueden influir sobre el desarrollo directa o indirectamente.

1.1.4.2 Daños en cultivos en invernadero

Los daños que se ocasionan comienzan cuando la mosca se instala en el envés de la hoja hospedante y tanto en estado adulto como larvario, comienzan a nutrirse de ella y deteriorando el crecimiento de la misma.

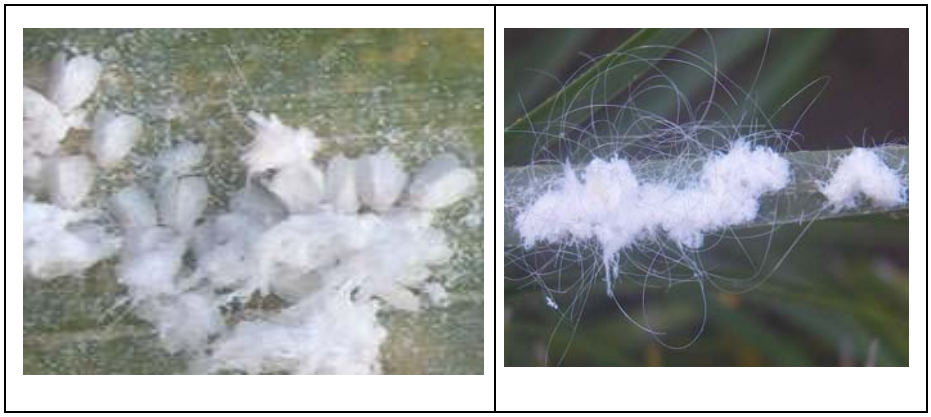


Figura 5. Daños en la hoja

Daños Directos. Producidos por la succión de savia. En este proceso se inyectan toxinas a través de la saliva lo que ocasiona el debilitamiento de la planta y a veces manchas cloróticas. En ataques intensos se producen síntomas de deshidratación, detención y disminución del crecimiento.

Figura 6. Hoja dañada

Daños Indirectos. Producidos por la secreción de melaza y posterior asentamiento de negrilla (Cladosporium sp.) en hojas, flores y frutos; lo que provoca asfixia vegetal, dificultad en la fotosíntesis, disminución en la calidad de la cosecha, mayores gastos de comercialización y dificultad en la penetración de fitosanitarios.

Figura 7. Hoja con negrilla

Transmisión de virus. Bemisia tabaci es capaz de transmitir gran cantidad de virosis. De entre ellas un buen número afectan al tomate. Se conoce su eficacia en la transmisión de enfermedades como:

- Tomato Yelow Leaf Curl Virus (TYLCV).
- Tomato Yelow Mosaic Virus (TYMV).
- Tomato Leaf Curl Virus (TLCV).
- Chino del tomate (CdTV).
- Tomato Golden Mosaic Virus (TGMV).
- Tomato Yellow Dwarf Virus (TYDV).
- Leaf Curl Chili Virus (LCChV).
- Yellow Mosaic French Bean Virus (YMFBV).
- Tomato Mottle Virus (TMOV).

De todas estas virosis la primera es, en la actualidad, el más extendido y pernicioso en las áreas mediterráneas, al originar una parada casi total en el desarrollo de las plantas afectadas. La enfermedad del virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV) o “virus de la cuchara”, como se conoce coloquialmente, es de reciente introducción en la Península Ibérica. Su fuerte incidencia en los cultivos de tomate bajo invernadero, llevando incluso al arranque de parcelas, hace imprescindible el control de su vector. La transmisión del TYLCV por Bemisia tabaci se realiza de forma persistente circulativa. Es adquirido, tanto

por las larvas como por los adultos, al alimentarse del floema de las plantas infectadas. El periodo de adquisición oscila entre 15 y 30 minutos, necesitando de un tiempo similar para inocularlo. Los adultos son capaces de transmitir el virus antes de las 17 horas después de su primera ingestión, permaneciendo infectivo durante más de 8 días, hasta un máximo de 20 días. Durante ese periodo la infectividad del vector disminuye progresivamente, pudiendo readquirirlo en sucesivas alimentaciones. En ningún caso el virus se transmite a la progenie. Los síntomas en las plantas pueden aparecer a los 15 o 20 días después de ser inoculado el virus por el vector. Al biotipo B se le considera menos eficaz que al biotipo A en la transmisión, aunque su polifagia y sus elevadas potencialidades multiplicativas hacen que se contemple como el principal dispersador de la enfermedad. La condición de vector hace que, en las zonas donde coincide con las virosis, los niveles poblacionales de intervención sean muy inferiores a los que se establecen para la plaga productora de daños directos. Los riesgos de mayor incidencia de la enfermedad se producen en el verano y en el otoño, cuando las poblaciones alcanzan niveles máximos.

1.1.4.3 Resistencia y tolerancia

La utilización de variedades comerciales resistentes a la plaga o al TYLCV, no es posible todavía en la mayor parte de los casos. Sin embargo el descubrimiento de variedades tolerantes o resistentes para el vector y el TYLCV añade una nueva dimensión en el control de esta plaga y probablemente sea el camino más eficaz. Las variedades actuales de tomate no son suficientemente resistentes a TYLCV, pero existen especies silvestres con diferentes niveles de resistencia.

Se tiene que la mosca blanca es la que se encuentra con mayor reincidencia en los invernaderos de la región ubicada en el bajío, que es donde se desarrollara el proyecto, principalmente en época de verano.

1.1.5 Métodos de lucha integrada

La Lucha Integrada es el método de control de plagas y enfermedades en el que se emplean conjuntamente productos químicos, insectos útiles y prácticas culturales. El objetivo fundamental de este tipo de agricultura, es el control racional y eficaz de las plagas y enfermedades, reduciendo la cantidad de residuos de los productos que se van a recolectar. Varios programas de lucha integrada, fundamentalmente en tomate y en pepino, se han puesto a punto y se emplea, a nivel comercial, en varias partes del mundo en invernadero. Hasta la fecha el control de B. tabaci en Almería se ha basado casi exclusivamente en la Lucha Química, pero actualmente se han desarrollado, y aplican a nivel comercial, programas de lucha integrada en los principales cultivos hortícolas de invernadero para su control.

Por otro lado cuando se lleva a cabo perfectamente la administración de pestes esta se convierte en una herramienta poderosa, eficientemente económica y ambientalmente amistosa. El primer paso del IPM, explorar y monitorear insectos puede ser tedioso y conlleva tiempo; es una tarea que a menudo desatendida cuando otras operaciones en el invernadero son o parecen ser más urgentes (cosechando, la conservación de la cosecha, etc.).

El procedimiento más común de la exploración de insectos es la observación visual de plantas y/o de tiras de tarjetas pegajosas amarillas o azules que pueden atrapar a los insectos voladores. Las inspecciones se llevan generalmente a cabo una vez a la semana (adecuado) pero deberían hacerse dos veces a la semana (lo ideal). Los conteos diarios serían aún mejores pero actualmente no son utilizados en invernaderos a causa de limitaciones logísticas. Además, más observaciones o inspecciones por área, significan más certeza en el tiempo de la aplicación de insecticidas o controles biológicos.

Automatizar una tarea tan importante y tediosa como la exploración de insecto sería de gran beneficio para las operaciones de un invernadero, especialmente si los datos de la especie, la etapa del desarrollo del insecto, la ubicación, la severidad o los números de una peste de insecto, y las pautas

temporales se podrían integrar en un sistema de base de datos. La tediosa naturaleza de explorar implica tiempo y esfuerzo para controlar y registrar los insectos. Por ejemplo, en un invernadero de una hectárea (100 tiras pegajosas) donde se hiciera la exploración cada día, tomaría al personal bien entrenado y bien equipado un mínimo de 2 horas/hombre. Esto sin analizar las pautas espaciales y temporales de las pestes de insecto. Dos horas en 365 días tendrían como resultado 730 horas/hombre. Incluso si explorar se hiciera dos veces a la semana esto asciende todavía a 200 horas/hombre.

Un sistema de exploración ideal tendría que llevar a cabo la tarea descrita y ser capaz de reunir información diaria respecto de la especie de insecto, la etapa del desarrollo basándose en el tamaño, la forma, y posiblemente el color. Asimismo discriminar las partículas de polvo u otros objetos que se puedan adherir a la trampa (tira amarilla o azul pegajosa), de tal forma que sea posible integrar estos datos en un sistema de control y toma de decisión.

En algunos casos es sugerido que la fruta sea utilizada como "trampa", como esto obvia el uso de las trampas amarillas, pegajosas y convencionales [G. B. Dennill, 2003] esta es otra alternativa de monitoreo de de pestes pero tiene la desventaja de que la observación depende de un individuo al igual que en la de las trampas amarillas pegajosas.

1.2 Objetivo e hipótesis

El objetivo del presente trabajo, es diseñar y desarrollar un algoritmo para procesar imágenes y poder monitorear la mosca blanca (insect scouting) en invernaderos, el cual permitirá a través de una cámara adquirir imágenes y así poder dar un análisis y clasificación, y de esta manera tomar decisiones en base a las condiciones del microclima.

Los insectos poseen característica geométricas particulares, dependiendo de la especie y la etapa de desarrollo; lo cual permite su

identificación y clasificación a partir de la implementación de algoritmos de procesamiento de imágenes.

2 Antecedentes

La *agricultura de precisión* es un concepto agrícola basado en la existencia de variabilidad en campo. Requiere el uso de nuevas tecnologías, tales como sistemas de posicionamiento global (GPS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con herramientas de manejo de información geográfica (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones. La información recolectada puede ser usada para evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar fertilizantes y otras entradas necesarias, y predecir con más exactitud la producción de los cultivos.

La aplicación de conceptos de agricultura de precisión usualmente se considera relativa a la *agricultura sostenible*. Esta pretende evitar la aplicación de las mismas prácticas a un cultivo, sin tener en cuenta las condiciones locales de suelo y clima.

La agricultura de precisión puede ser usada para mejorar un campo cultivado o administrar un cultivo desde diferentes perspectivas:

- Perspectiva agronómica: ajuste de prácticas culturales para tomar en cuenta las necesidades reales del cultivo (e.g., mejores manejos de la fertilización).
- Perspectiva técnica: mejor administración del tiempo a nivel de cultivo (e.g. planificación de actividades agrícolas).
- Perspectiva ambiental: reducción de impactos agrícolas (e.g. mejor estimación de necesidades en nitrógeno implica menos nitrógeno liberado al ambiente).
- Perspectiva económica: incremento en el producto de salida y/o reducción de insumos, incremento de la eficiencia (e.g. bajos costos de fertilización con nitrógeno).

Otros beneficios para el agricultor son tener una historia de sus prácticas agrícolas y sus resultados, ayudándolo en la toma de decisiones y en el

seguimiento de exigencias (como las que se requieren cada vez más en los países desarrollados).

Chwan-Lu et al., (2006), en Taiwán, realizaron estudios respecto de la viabilidad del uso de sistemas GSM-SMS (Global system of mobile communication GSM; Short message service SMS); para la adquisición de datos, proponiendo un sistema prototipo que transfiere los datos desde una estación de monitoreo que se encuentra en campo hacia una plataforma donde se encuentra el control del sistema. La comunicación entre estos equipos se lleva a cabo por medio de la tecnología GSM-SMS. Para el control del sistema encargado de monitorear en campo, se desarrolló un formato de mensaje corto, el cual es conveniente para controlar el área agrícola y reunir los datos de campo, tales como temperatura, humedad, velocidad de viento, e índice de pestes capturado.

Harman y Drake en el 2003 implementaron un radar automatizado (*Figura 8*) para controlar a largo plazo las observaciones de la actividad migratoria de varias especies de insectos a cielo abierto. Un insecto que pasa por encima de uno de estos radares produce una señal con una variación de tiempo dependiente de su posición respecto al radar, la cual es registrada y analizada para recuperar los parámetros que indican la trayectoria del objetivo (velocidad, dirección), su orientación, y su carácter (el tamaño, la forma).

Figura 8. Radar

Así mismo, Drake (2002) desarrolló un sistema automático para analizar los datos meteorológicos en conjunto con la información proporcionada por el radar. De tal manera que fuera posible elaborar automáticamente resúmenes estadísticos diarios y representaciones gráficas de la actividad observada por el radar durante la noche previa. Estos resúmenes son descargados a la computadora del central, haciéndoles disponibles mediante accesos remotos (Internet) a los usuarios por la mañana del día siguiente. La red es utilizada en estudios de la ecología espacial de poblaciones de insectos y de la utilidad de la migración- controlando información para pronosticar operacional de peste.

2.1 Sistemas SIG

En el sistema SIG, (Sistemas de Información Geográfica) podemos obtener por ejemplo un mapa de la variación del pH en una parcela determinada y en función de esta visualización gráfica, proceder a aplicar las enmiendas necesarias, pero ya de manera específica en los lugares o sitios donde sea necesario. De igual forma podemos hacer con cada parámetro de suelo, llegando así a tener una poderosa herramienta que nos ayudará en la planificación de las actividades agrícolas, en los diferentes programas de fertilización, etc. Junto con el SIG y el GPS, también son utilizadas otras herramientas como las imágenes de satélites, sensores de suelo, muestreos de suelo, estudios de suelo, programas para la toma de decisiones y maquinarias. Hoy en día con la instalación del GPS, en los diferentes tipos de maquinarias agrícolas es posible determinar en tiempo real información de las parcelas en la medida en que la maquinaria se desplaza por esta.

Es decir que se puede determinar el caudal instantáneo de grano que llega a la tolva de una cosechadora, efectuando la pesada, teniendo en cuenta la temperatura y la humedad del grano trillado y presentar esta información en forma de un mapa de rendimiento en el monitor de una computadora de forma instantánea en la medida que se realiza el trabajo.

2.2 Sistema de posicionamiento global

Consiste en una constelación de 24 satélites que giran en el espacio en órbitas definidas alrededor de la tierra, los cuales envían una señal a un receptor de GPS, para la determinación de su posición o ubicación exacta en cualquier lugar de la tierra.

Esta ubicación se expresa en términos de la Latitud y la Longitud de ese lugar o en cualquier otro sistema de coordenadas. Para una mejor precisión en el cálculo se necesita recibir señal de por lo menos cuatro satélites, en la práctica se trabaja con un máximo de ocho, aunque pueden captarse 12 a la vez.

2.3 La percepción remota

La percepción remota (PR) ha sido definida de varias maneras. En general, la PR es un grupo de técnicas para recolectar información sobre un objeto o área si tener que estar en contacto físico con el objeto o área. Las distancias que separan al sensor del objeto o área estudiados pueden variar desde unos pocos metros hasta miles de kilómetros. Los métodos más comunes para recoger información incluyen el uso de sensores colocados sobre aviones o sobre satélites. Un ejemplo familiar de datos percibidos remotamente es el mapa del tiempo que se ve comúnmente en el noticiero de la televisión, mostrando la cobertura de nubes y precipitación a través del país.

Las técnicas de la percepción remota son usadas ampliamente para recolectar información sobre facciones de la superficie terrestre. Los datos percibidos remotamente tienen muchos usos que van desde la vigilancia militar, hasta la planificación del uso de la tierra urbana e industrial, hasta el estudio del suelo agrícola y los cultivos.

Se utilizan varios tipos diferentes de sensores, tanto para fotografía aérea e imágenes satelitales. La PR puede ser una alternativa interesante a los

métodos tradicionales de estudio del campo, por la capacidad de cubrir grandes áreas rápida y repetidamente. Puede ser usado durante toda la estación de crecimiento, incluso cuando el contacto físico directo con los cultivos es difícil o le causaría daño. La PR resulta a menudo en una información más oportuna de las condiciones del cultivo. La detección temprana y el manejo anticipado de problemas pueden ayudar a prevenir perdidas potenciales de cultivos. La PR provee al productor los medios para identificar problemas potenciales antes que estos se vuelvan irreversibles en términos de rendimiento o calidad de la cosecha. (Von Martini et al., 2005)

Los Sistemas georeferenciados consisten en obtener datos georeferenciados en los lotes para un mejor conocimiento de la variabilidad de rendimiento expresado por los cultivos en diferentes sitios como loma, media loma y bajo. También con esta tecnología es posible ajustar la mejor dosis de fertilización para cada sitio o lote específicamente o el mejor híbrido, variedad, densidad de siembra, espaciamiento entre hileras, etc. Los beneficios se pueden resumir valorando el análisis y diagnóstico posible de realizar partiendo de más de 800 datos de rendimiento por hectárea versus el análisis partiendo del promedio de rendimiento de todo un lote que ofrece la agricultura tradicional sin la ayuda del monitor de rendimiento satelital. Los datos recogidos a través de las diferentes capas de información posibles como son: mapas de rendimiento de cultivos anteriores, fotografía aérea, mapas topográficos, imágenes satelitales, experiencias anteriores del productor o bien mapas de suelo de áreas homogéneas, todo ello nos permite definir dentro de un lote sitios con potencialidad de rendimiento muy diferentes, bien definidas.

Algunas empresas promocionan el sistema un sistema auto-guía diciendo que en los próximos 5 años el sistema auto-guía será el responsable principal de las modificaciones en el escenario de la maquinaria agrícola, además de promocionar la aplicación de de este sistema en todos sus productos.

El sistema de auto-guía, automatiza (*Figura 9*) el direccionamiento de un equipo agrícola, permitiendo un mejor trabajo. El operador trabaja con precisión

de noche y en condiciones de baja visibilidad, por más tiempo y con menos desgaste físico, lo que permite aumentar la concentración en otras tareas más importantes.

Figura 9. Sistema auto guía

Sin embargo toda esta tecnología ha sido desarrollada en países extranjeros como China lo cual eleva mucho su costo económico, nuestro sistema será igual de eficiente y menos costoso siendo un desarrollo nacional.

3 Procesamiento de imágenes

En los últimos años el Procesamiento Digital de Imágenes ha sido ampliamente utilizado por diversas disciplinas tales como: Medicina, Biología, Física e Ingeniería. Mediante el Procesamiento Digital de Imágenes es posible manipular imágenes digitales en una computadora con el fin de obtener información objetiva de la escena captada por una cámara. Dentro de este proyecto se trabajaran de la siguiente manera:

1. Pre-procesamiento.
2. Segmentación.
3. Post-procesamiento.
4. Aplicaciones específicas.

El pre-procesamiento de una imagen comprende desde el momento mismo en que la imagen es capturada hasta que esta se encuentra en condiciones de ser utilizada para un propósito específico. Podemos definir las secciones del pre-procesamiento como: Adquisición, adecuación y filtrado. La adquisición comprende todo lo referente al tipo de dispositivo con el cual se ha de capturar la imagen. Es decir, las propiedades del dispositivo de captura, tanto intrínsecas como extrínsecas. La manera en la cual se introduce la imagen captada a la computadora, lo cual incluye los manejadores de dispositivo así como el programa de interfaz entre el dispositivo físico y la etapa de procesamiento. La adecuación de la imagen está entendida como la modificación de la misma con el fin de facilitar su procesamiento, lo cual puede ejemplificarse con un cambio entre el espacio de color RGB y el espacio HSI o bien la conversión a una escala de colores inferior. Por último dentro del pre-procesamiento es necesaria la aplicación de diversos tipos de filtros para eliminar aquellas componentes de información no deseada. Existen diversos tipos de filtro, aplicados según las necesidades del procesamiento. Existen aquellos que nos sirven para realzar los contornos o bien aquellos que nos permiten difuminar zonas de la imagen que debido a las propiedades del dispositivo de captura se presentan como zonas aisladas.

La segmentación dentro de una imagen está encaminada a resaltar las componentes deseada de una imagen y minimizar los efectos de aquellas que queramos eliminar. De otra manera podemos decir que en el proceso de segmentación se busca obtener componentes dentro de la imagen de características similares. Distintos métodos como la umbralización, el etiquetado, y otros; así como la combinación de ellos nos permite eliminar las partes no deseadas de una imagen sin alterar la sección que deseamos preservar.

El post-procesamiento está encaminado a recuperar aquellas formas de la segmentación de la imagen que se hubiesen perdido en el proceso de extracción. Dentro de este procedimiento la morfología matemática aplicada al procesamiento de imágenes tiene una de sus más comunes aplicaciones.

Finalmente tenemos la aplicación específica que se desee dar, en este caso el giro será la exploración de insectos dentro de un invernadero de cual nos interesa obtener el área y el perímetro de su contorno para obtener el índice de forma y así hacer una clasificación correcta.

Mediante la implementación de algoritmos de morfologia matematica para dos dimensiones, es posible diseñar filtros que permiten eliminar las señales no deseadas dentro de una imagen . Así como la facilidad para obtener ciertas regiones de información a partir de una imagen biodimencional.(Garcia et al., 2005).

3.1 Algoritmos de visión artificial

La imagen monocromática o imagen se refiere a una función bidimensional de intensidad de luz f(x, y), donde x e y representan las coordenadas espaciales y f en un punto cualquiera (x, y) es porporcional al brillo (o nivel de gris) de la imagen en ese punto(Gonzales y Woods, 1996). Una imagen númerica es un matriz donde el valor de cada elemento

muestreado es llamado píxel y representa la intensidad luminosa discretaen el punto (x, y) frecuentemente el píxel es representado para una codificación de 8 bits en un rango [0, 255], con cero correspondiente al negro y 255 correspondiente al blanco(Jain,1995).

Una imagen es un arreglo de 2 dimensiones por píxel. Los indices de renglones y columnas [i,j] de un píxel son los valores enteros que especifican el renglon y la columna en el arreglo de valores del píxel. El píxel [0,0] esta colocado en la esquina superior.

3.1.1 Imagen binaria

Un Imagen binaria I es una aplicación de un dominio $D_I \subset Z^2$ con valores {0,1}

$$I\begin{pmatrix} D_I \to \{0,1\} \\ x \to I(x) \end{pmatrix}$$

En la práctica, una imagen binaria es un arreglo bi-dimensional de bits (bitmap en ingles).

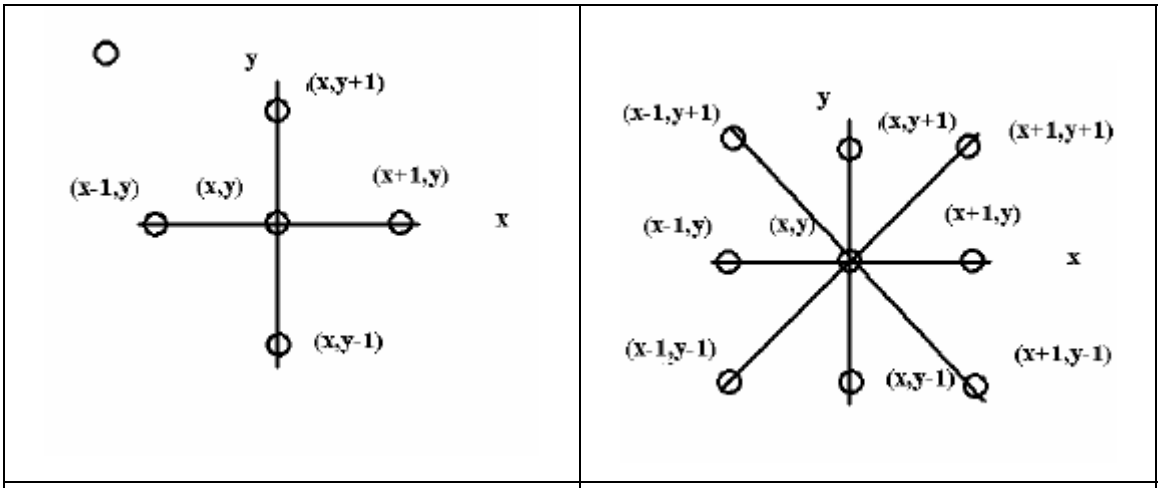
Los tipos de operaciones que se efectúan en el procesamiento sobre píxel son:

- Aritméticas: Suma de imágenes, resta, multiplicación,..
- Sobre conjuntos: Intersección, unión, diferencia, complemento (negativo),…
- Logaritmos, exponenciales,..
- Umbrales.

3.1.2 Vecindad

El tratamiento de las imágenes trabajando de manera individual sobre cada píxel, permite resolver una clase reducida de problemas. En la practica se requiere tomar en cuenta no solo el píxel a tratar, sino también sus vecinos.

Las operaciones locales. El valor del píxel en la imagen de salida es función del de sus vecinos (*Figura 10*) más próximos y del suyo propio en la imagen original. Se suelen presentar como operaciones alrededor del píxel tratado. El objetivo de estos procesos es modificar las imágenes para mejorar su calidad o resaltar aspectos de las mismas que nos interesan. Comprende filtros de realce y suavizamiento como: paso bajo, paso alto, mediana, laplaciano, gradiente, gaussiano, etc.



(a) Cuatro vecinos	**(b)** Ocho vecinos

Figura 10. Vecindad

3.1.3 Conectividad

La conectividad tiene marcada importancia en el procesamiento de imágenes y en particular en la Morfología Matemática por la naturaleza topológica y geométrica de la misma.

Una trayectoria arco-conexa (*Figura 11*) P entre dos puntos p, q es una secuencia de puntos $p_1, p_2, ..., p_n$ tal que $p_1 = p$ y $p_n = p_1$ para todo $(p_i, p_{i+1}) \in N_G$

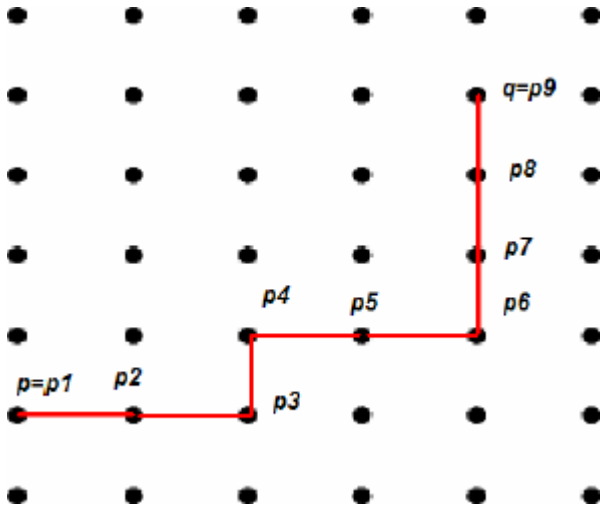


Figura 11. Trayectoria arco-conexa

3.1.4 Umbralización (threshold en inglés) de una imagen

La umbralización de una imagen es una de las transformaciones más utilizadas, no solamente en la práctica, sino en la formalización y caracterización de transformaciones. Esta operación consiste en transforma una imagen numérica en una imagen binaria.

Usando dos umbrales (inferior y superior), todos los píxeles de la imagen de entrada que tienen un valor entre estos dos umbrales son puestos a valor "1" (valor 255 en las imágenes) en la imagen de salida, mientras que aquellos que no están en este rango son puestos a cero. El procedimiento para obtener la umbralización es el siguiente. Sean U_inf y U_sup los umbrales.

Un concepto frecuentemente utilizado para selección los valores de los umbrales es el concepto de histograma de niveles de gris. El histograma de niveles de gris no es otra cosa que la distribución de los niveles de gris. Esta distribución se almacena un arreglo unidimensional H (i), con ii $\in$ {0, 1, 2,...,

255}. H (0) tiene el valor del número de píxeles con valor cero en la imagen, H (1) aquellos con valor 1, etc.

Sin embargo, las imágenes en general son más complejas y un simple histograma no permite su separación. En general se requiere de un procesamiento más complicado para lograrlo.

3.1.5 Segmentación a escala de grises

La segmentación de un nivel es una conversión entre una imagen en niveles de grises y una imagen monocroma (blanco y negro).

Dicha imagen monocroma debe contener toda la información esencial de la imagen en niveles de grises. (Mismo número de objetos, misma posición y la misma forma de los objetos). La cantidad de información para representar la imagen monocroma es mucho menor

La segmentación de un nivel es casi esencial antes de procedimientos como adelgazamiento, vectorización y operaciones morfológicas.

Hay varias maneras para realizar este tipo de segmentación, la forma más común es elegir un valor de umbral, todos los píxeles de las imágenes en escala de grises con un valor menor se consideran negros (0), y todos aquellos cuyo nivel de gris sea igual o superior se consideran blancos (1).

El problema de la segmentación es elegir ese valor de umbral; según el nivel de gris de cada píxel, y el umbral elegido, cada píxel va a pertenecer a una de los siguientes conjuntos:

- Conjunto de píxeles negros: Imagen (i, j) < T
- Conjunto de píxeles blancos: Imagen (i, j) >= T

Donde T es el valor de umbral elegido.

No todas las imágenes al aplicarle este método mantienen su información esencial, esto puede ser debido a la presencia de ruido o de efectos de iluminación en la imagen original.

3.1.6 Ponderado 3 x 3

Se solicita por medio de un cuadro de diálogo una matriz 3 x3 elementos donde es la matriz formada por el píxel central y sus 8-vecinos; en caso de que alguno de los 8-vecinos no pertenezca a la imagen su valor será considerado 0.

$$\begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} \end{bmatrix}$$

$$s = \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{3} w_{ij} p_{ij},$$

3.1.7 Método de píxeles de borde

Un píxel de borde debe estar cercano al límite entre una imagen y el fondo, o entre dos objetos. El resultado de esto es que el valor de un píxel de borde puede ser bastante consistente, ya que muchas veces estarán dentro del objeto y otras veces un poco fuera debido al contorno. El histograma de estos píxeles será mas regular que el histograma general de la imagen.

El método buscar un umbral haciendo uso del Laplaciano digital hace uso de esta idea.

El Laplaciano digital es un operador de detección de borde no direccional; dicho valor de umbral se obtiene mediante el Laplaciano de la imagen de entrada. Un método simple para realizar este proceso es convolucionar la imagen con la siguiente máscara:

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

A partir de ahora el histograma de la imagen original se encuentra considerando solo aquellos píxeles que tienen un valor grande de Laplaciano (se considera a partir del 85%) Aquellos píxeles con un Laplaciano superior al 85% tendrán su nivel de gris apareciendo en el histograma; mientras aquellos que no superen el 85% no lo tendrán.

3.1.8 Imágenes a color

En la captura de la imagen se puede muestrear únicamente la cantidad de luz sin distinguir colores, produciendo una imagen en blanco y negro. También es posible emplear captadores sensibles a determinados rangos de longitud de onda, produciendo imágenes en color a través de la composición de tres señales unidimensionales. Los rangos mas utilizados son los que están en torno al rojo (700 nm), al verde (546.1 nm) y al azul (435.8 nm), que son los tres colores básicos en señales luminosas. Las longitudes de onda son las establecidas por la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage).

3.1.9 Luminancia y crominancia

La luminancia: contiene la información acerca de la luminosidad de la imagen o sea el brillo local con independencia del color

La crominancia contiene la información sobre el tipo de color en los distintos puntos de la imagen sin considerar la intensidad con que éstos se presentan.

La relación que existe entre la luminancia (Y) y las componentes de la intensidad de los tres colores (R, G, y B) es la siguiente:

$$Y=0.299R+0.587G+0.114B$$

3.1.10 Apertura y cerradura morfológicas

Aunque la erosión y la dilatación permiten eliminar regiones de acuerdo a un criterio de tamaño (elemento estructural), estas transformaciones tienen el inconveniente de modificar considerablemente las estructuras que permanecen en la imagen de salida. En particular, los contornos de los objetos son en general modificados. Por otra parte, estas transformaciones no tienen una de las propiedades más interesantes de la Morfología Matemática (MM), la ídempotencia. Sin embargo, es posible construir nuevas transformaciones a partir de la dilatación y la erosión.

Aún más, podemos decir que la mayor parte de las transformaciones en MM pueden expresarse en función de la dilatación y la erosión. La combinación de ambas transformaciones permite crear dos nuevas transformaciones, las cuales además de ser transformaciones crecientes, son también transformaciones ídem potentes. Es decir, son filtros morfológicos. En efecto, los filtros morfológicos básicos en MM son la apertura morfológica $\gamma_{\mu B}$ y la cerradura morfológica $\varphi_{\mu B}$ usando un elemento estructural μB, con B el elemento estructurante elemental conteniendo el origen, $B^{\wedge}$ su transpuesto ($\}\ B\ x : x\ \{\ B^{\wedge} \in - =$) y μ un factor de homotecia.

De esta forma, el elemento estructural de tamaño μB estará formado por un conjunto de tamaño $(2\mu+1)x(2\mu+1)$ píxeles. La apertura y la cerradura morfológicas en el caso binario se expresan a partir de la dilatación $\delta_{\mu B}$ y la erosión $\varepsilon_{\mu B}$.

$$\gamma_{\lambda B}(X) = ((X \Theta \lambda \hat{B}) \oplus \lambda B) = \bigcup \{\lambda B_x : \lambda B_x \subset X\}$$

$$\varphi_{\lambda B}(X) = ((X \oplus \lambda \hat{B}) \Theta \lambda B) = \bigcup \{\lambda B : \lambda B_x \subset X\}^C$$

La apertura y cerradura con un elemento de estructuración isotrópico es usada para eliminar pequeños detalles de una imagen especifica del elemento de estructuración la forma global de los objetos es no distorsionada. La cerradura conecta objetos que están cerca, llena agujeros pequeños, y aplana los objetos.

La apertura y cerradura son invariantes para la traslación del elemento de estructuración. La apertura y cerradura son transformaciones incrementales. La apertura es anti-extensiva ($X \circ B \subseteq X$) y la cerradura es extensiva ($X \subseteq X \bullet B$).

La apertura y cerradura, tal como la dilatación y erosión, son transformaciones duales:

$$(X \bullet B)^C = X^C \circ \overset{u}{B}$$

Otro hecho significante es que usadas reiteradamente la apertura y cerradura son ídem potentes significando que la reaplicación de estas transformaciones no cambia el resultado previo. Formalmente,

$$X \circ B = (X \circ B) \circ B$$
$$X \bullet B = (X \bullet B) \bullet B$$

3.1.11 Erosión y dilatación

Las transformaciones básicas en la morfología matemática son la erosión y dilatación morfológicas. El conjunto llamado elemento estructural o estructurante μB, con B el elemento estructural elemental (3x3 píxeles por ejemplo) conteniendo el origen, Bˆ su transpuesto (Bˆ = -x : x $\in$ B) y μ un factor de homotecia. De esta forma, el elemento estructurante de tamaño μB estará formado por un conjunto de tamaño (2μ+1)x(2μ+1) píxeles.

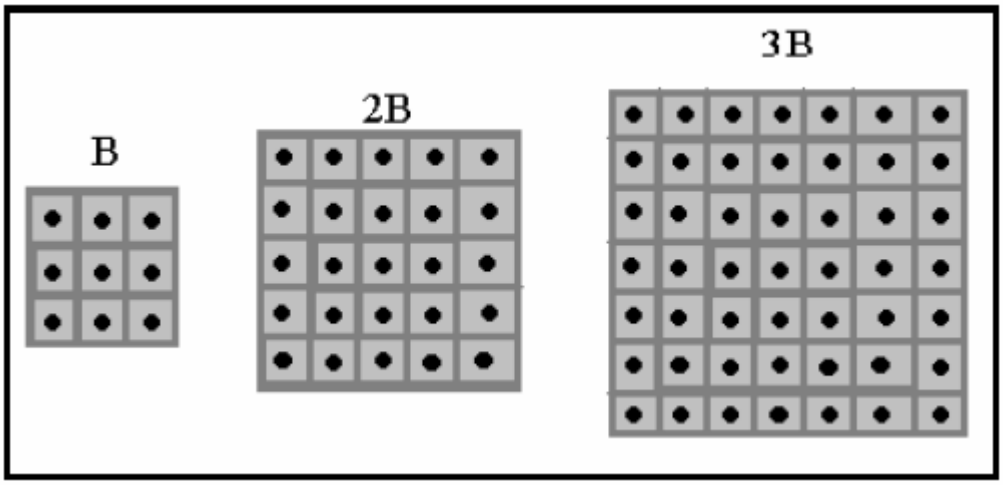


Figura 12. Elementos estructurales

Erosión

Se define a partir de dos conjuntos X y λ B. Por lo tanto la erosión morfológica del conjunto X por el conjunto λ B (elemento estructural o estructurante) está dada por:

$$\varepsilon_{\lambda B}(X) = X \Theta \lambda \overset{\vee}{B} = \bigcap_{b \in \lambda \overset{\vee}{B}} X_b = \{x : \lambda B_x \subset X\}$$

Desde el punto de vista geométrico, podemos decir que la erosión de un conjunto X por un conjunto λ B, es el lugar de centros del elemento estructural cuando este se encuentra totalmente incluido en X.

La erosión con un elemento de estructuración isotrópica se llama contracción o reducción. Pueden usarse las transformaciones morfológicas básicas para encontrar los contornos de objetos muy rápidamente en una imagen.

Se usa la erosión para simplificar la estructura de un objeto-objetos o sus partes con el ancho igual a uno desaparecerán. Podría descomponer los objetos complicados así en varios más simples.

Dilatación

La dilatación se define a partir de dos conjuntos X y λ B. Por lo que la dilatación morfológica del conjunto X por el conjunto B λ (elemento estructural o estructurante) está dada por:

$$\delta_{\lambda B}(X) = X \oplus \lambda \check{B} = \bigcup_{b \in \lambda \check{B}} X_b = \{x : \lambda B_x \cap X \neq \varnothing\}$$

Desde el punto de vista geométrico, la dilatación de un conjunto X por un conjunto λ B es el lugar de centros del elemento estructural cuando este conjunto toca al conjunto X.

En estos momentos vale la pena el siguiente comentario. La idea original de estas. Como ya lo habíamos dicho estas transformaciones viene del concepto de resta y suma de minkowski. Estas transformaciones están dadas, respectivamente, por las siguientes ecuaciones.

$$X \Theta Y = \left\{ x : \check{Y}_x \subset X \right\} \qquad X \oplus Y = \left\{ x : \check{Y}_x \cap X \neq \varnothing \right\}$$

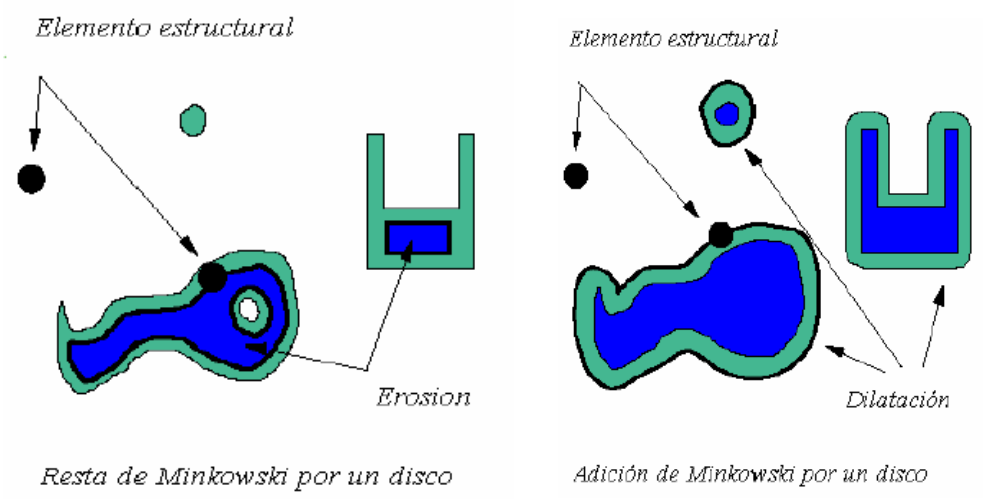
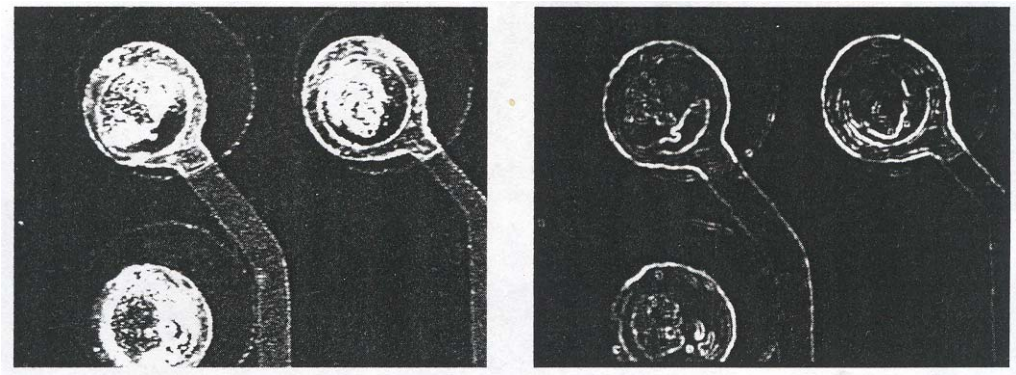


Figura 13. Elemento estructural

3.1.12 El gradiente morfológico

La operación del gradiente morfológico crea una imagen de borde mejorado de los bordes de los objetos en una imagen, tal como la operación de contorno binario. El contorno representa las porciones de la imagen donde las transiciones oscuro-a-luminosas y luminoso-a-oscuras ocurren. Una imagen de gradiente morfológico se crea haciendo una copia de la imagen original primero. Nosotros aplicamos una operación de erosión entonces a la imagen original y una operación de dilatación a la copia de la imagen original. La imagen erosionada se substrae de la imagen dilatada que usa un proceso de punto de imagen dual. Porque la imagen dilatada aumenta ligeramente el tamaño de objetos y la imagen erosionada ligeramente disminuye el tamaño de objetos, su diferencia resalta los bordes de los objetos de la imagen original. El resultado es una imagen que muestra sólo el contorno del objeto, como se muestra en la Figura 6 El efecto de la operación del gradiente morfológico en un píxel unidimensional en nivel de gris se muestra en la Figura 14.



(a) Imagen original **(b)** Gradiente morfológico

Figura 14. Gradiente morfológico

3.1.13 Etiquetado

Otra transformación del procesamiento de imágenes es el etiquetado. Sus aplicaciones son amplias, sin embargo, la primera de ellas es el conteo de partículas de manera automática. El proceso de etiquetado consiste en dar un valor numérico a cada una de las partículas. El orden de asignación normal consiste en dar valores de niveles de gris (empezando con el valor uno) a las

componentes conexas, realizando un barrido de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo como se ilustra en la figura siguiente.

La figura 15 muestra la asignación de un valor numérico a cada componente conexa en el etiquetado.

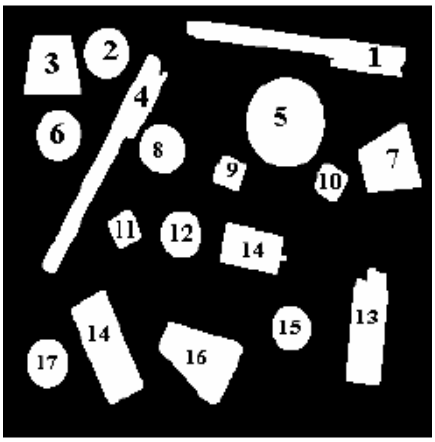
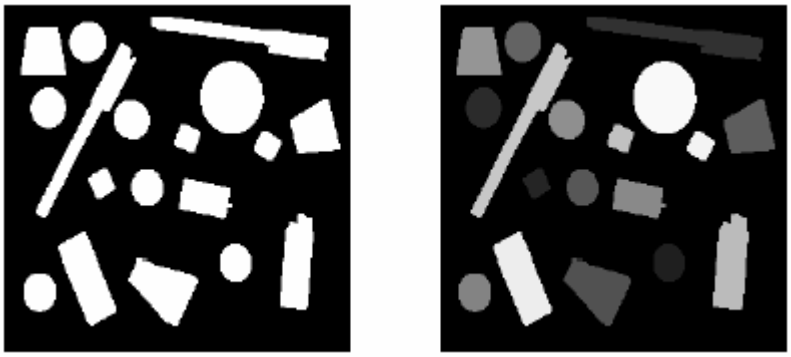


Figura 15. Etiquetado

Las figura 16(a)-(b) ilustran el proceso de etiquetado. Observe que los valores de nivel de gris de la imagen etiquetada fueron modificados con el fin de poder visualizar las diferentes componentes conexas.



(a) Original **(b)** Niveles de grises

Figura 16. Proceso de etiquetado

3.1.14 Sobel

Descripción: La operación de mejoramiento de borde Sobel extrae todos los bordes en una imagen, sin tener en cuenta la dirección. Esto se lleva a cabo

como la suma de dos funcionamientos de mejora de borde direccionales. La imagen resultante aparece como un contorno del omnidireccional de los objetos en la imagen original. Regiones de brillo constantes se vuelven negras, mientras las regiones de brillo cambiantes se vuelven resaltantes.

Las aplicaciones: La operación de mejoramiento de borde Sobel se usa para producir los bordes de los objetos en una imagen. Los bordes son cualquier transición de brillo afilada que sube del negro a blanco o cayente de blanco al negro. Esta operación es el omnidirectional, que significa que todas las transiciones de borde negro-a-blancas y blanco-a-negras son resaltadas, sin tener en cuenta sus direcciones en la imagen. La operación de Sobel es más inmune al ruido de la imagen que la operación Laplaciana, y esto proporciona la discriminación del borde más fuerte. La operación de borde Sobel puede producir resultados que son menos de 0 ó mayor que 255. En estos casos de bajo flujo y sobre flujo, los valores resultantes son forzados a 0 ó 255.

Los coeficientes de la máscara agregan un 0. Dos máscaras son aplicadas a una copia de la imagen original para resaltar los bordes horizontales y verticales independientemente. La imagen resultante se agrega para crear para crear el último Sobel de la imagen de mejora de borde. Las máscaras de mejora de borde son

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Mascara Vertical

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

Mascara Horizontal

El "thinning" o adelgazamiento es otro tipo de operación morfológica, consistente en obtener la línea media o eje de un objeto. Este tipo de procedimiento reduce los objetos a un conjunto de líneas sin perderse la conectividad del objeto original .Resulta de gran utilidad su aplicación al estudio

de longitudes y orientaciones de estructuras alargadas, por ejemplo dendritas neuronales.

Una vez que las imágenes binarias muestran de una forma individualizada los objetos que deseamos cuantificar, se procederá a su identificación y medida. Los parámetros a medir se pueden clasificar en:

(a) Morfométricos. Aquellos que cuantifican tamaño, forma, orientación y relaciones espaciales de los objetos.

(b) Densitométricos. Cuantifican nivel de gris o parámetros derivados del nivel de gris (transmitancia, densidad óptica, intensidad de fluorescencia, etc.).

(c) Parámetros morfométricos. Dentro de estos podemos distinguir entre parámetros morfométricos globales, aquellos que se aplican a una determinado estructura pero sin distinguir detalles de como se organizan sus componentes y parámetros objeto, que cuantifican tamaño y forma de cada objeto considerado individualmente.

Parámetros globales:

- Porcentaje en volumen**.** Porcentaje de un determinado componente en la imagen.
- Superficie específica. Superficie de un determinado componente de la imagen por unidad de volumen.
- Nº por unidad de volumen. Nº de objetos por unidad de volumen.

Parámetros objeto:

- Área.
- Perímetro
- Perímetro convexo. Se define como la longitud de una línea convexa que circunscribe el objeto a medir.
- Diámetro máximo y mínimo (longitud y anchura).

- Orientación.
- Forma Circular.
- Elongación (“Aspect Ratio). Relación entre la longitud y la anchura).
- Forma Rugosa. Este parámetro también denominado convexidad relaciona el perímetro convexo del objeto con su perímetro total.

Según González & Wintz (1977), el objetivo de estas técnicas es procesar una imagen de tal modo que la resultante sea más adecuada que la imagen original para una aplicación específica. El término "específico" es importante porque establece que el valor de la imagen resultante esté en función del problema que se trata. Así, un método que es útil para realzar un determinado tipo de imágenes puede no serlo para otras.

3.1.15 Filtro por área

Este Filtrado elimina los elementos de la imagen que están formados por un número inferior de píxeles a un valor dado por el usuario.

Por ejemplo si a una imagen original se le aplica el efecto de umbralización con un valor determinado por el usuario de 300 píxeles, obtendremos el siguiente filtro por área:

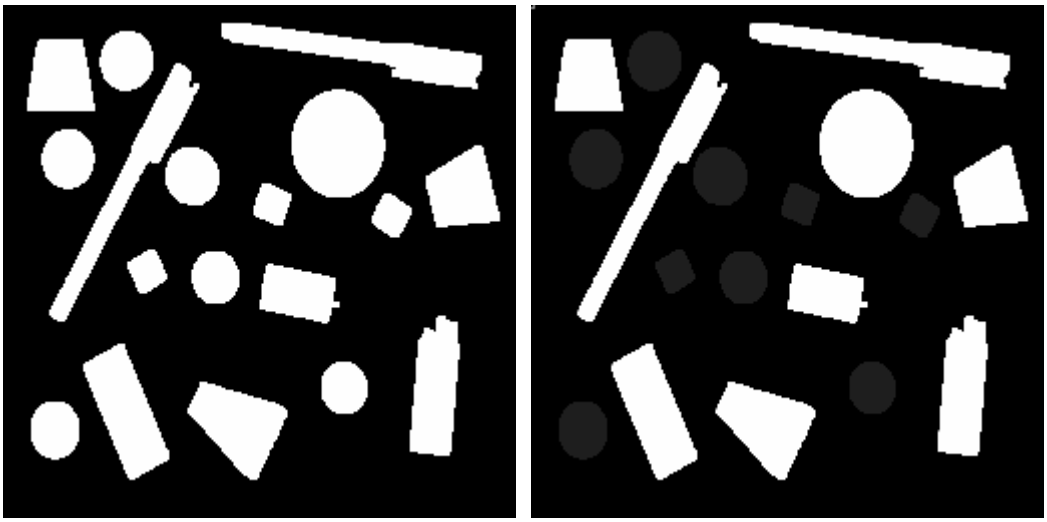


Figura 17. Filtrado por área

3.1.16 Filtro por forma

En este Filtrado se programan dos algoritmos que es filtro por área y seguimiento de contorno. El filtro por área cuenta el número de píxeles que conforman al objeto, el seguidor de contorno cuenta el perímetro, finalmente se saca una relación entre el área y el perímetro obtenidos para determinar si el objeto tiene forma circular, si es así se elimina de la imagen original, de lo contrario se conserva intacta.

4 Desarrollo del algoritmo

Fue primordial hacer el análisis de cuales son las posibles plagas que se presentan en cultivos bajo sistemas de producción de invernadero, ya que sabemos que estas pueden afectar gravemente la producción. Ya hecho este análisis (Capitulo 1), determinamos que nos enfocaríamos a la detección temprana de la mosca blanca, la cual es una de las plagas que más afecta estos sistemas de producción.

Atrapar con tarjetas pegajosas amarillas o azules (figura 18), dentro y fuera el invernadero, es esencial para un programa exitoso de la administración de mosca blanca.

Algunos de estos entrepaños amarillos no utilizan feromona, pero tienen un atrayente de alimento incorporado en la superficie pegajosa que atrae ambos sexos. Las tarjetas se utilizan para discernir y controlar los niveles de población. Por regla general, 1 a 4 tarjetas espació uniformemente a través de 1000 pies cuadrados de invernadero son suficiente. Un umbral generalmente aceptable para moscas blancas es 0,5 por tarjeta por día cuando la cosecha es joven, y 2 por tarjeta por día como la cosecha alcanza la madurez. Las Trampas se deben colgar el nivel con las cimas de las plantas dado que las moscas blancas son muy atraídas al follaje joven. Las puertas, las aberturas y otras aperturas donde moscas blancas pueden entrar el invernadero son otros sitios buenos de colgar tarjetas pegajosas amarillas. Es importante señalar, que los plásticos del invernadero en sí mismos pueden tener la influencia significativa en la atracción inicial de insectos en invernaderos.

Las láminas adhesivas de color amarilla o azul son indispensables para la detección y el monitoreo de plagas.

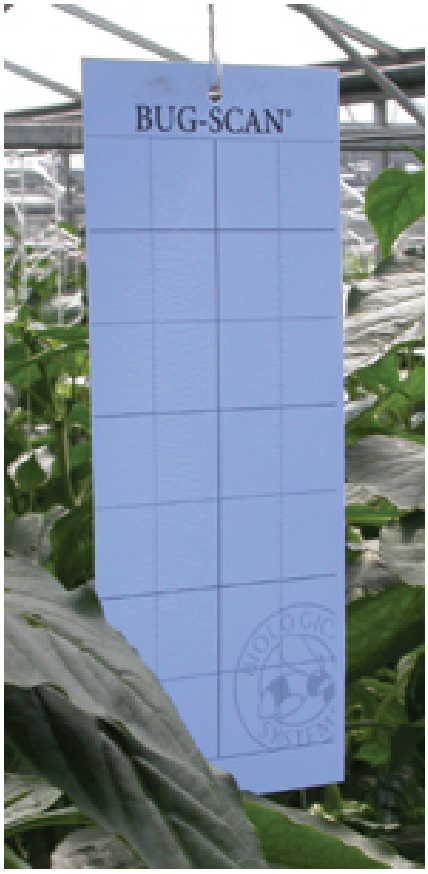


Figura 18. Trampa para insectos

La importancia de la aplicación de técnicas de procesamiento de imágenes en un sistema de producción automatizado, es poder monitorear constantemente de manera visual los cambios o aumentos de plagas que ocurren dentro del invernadero. Para estos es necesaria la colocación y distribución adecuada, de láminas adhesivas de color amarillo dentro del invernadero.

El paso a seguir, fue la adquisición de la imagen de las trapas, esta adquisición se realizó tomando fotos con una cámara digital Panasonic Lumix, sobre las tiras de pegamento de control de plagas. Ahora bien, estas imágenes obtenidas contienen toda la información de manera digital, la cual fue manipulada por software para su análisis.

El análisis que se requiere es principalmente hacer una clasificación de los diferentes objetos encontrados en la imagen, en base sus características geométricas.

A continuación se hace una descripción de las diferentes técnicas de clasificación.

4.1 Clasificación

En muchas aplicaciones del procesamiento de imágenes es necesario analizar el tamaño y la forma de partículas tales como: burbujas, aerosoles, gotas, y otras. En estos casos, los parámetros del interés se definen directamente de la imagen tomada. En algunas aplicaciones solo es necesario determinar el área y la forma de cada partícula, pero en otras (más complejas), se requiere detectar las diferentes clases de objetos existentes en la imagen.

Existen varios problemas en lo que a procesamiento de imágenes se refiere. El asignar objetos a ciertas clases es uno de ellos, ya que un análisis tan específico como este requiere de un mayor trabajo.

Para la clasificación, no es posible utilizar solo el área característica, porque la separación entre sus parámetros no es significativa, esto quiere decir, que existe una alta correlación entre las algunas de las clases.

4.2 Técnicas de clasificación

Una vez clasificadas las clases, se obtiene un vector de la característica del nuevo objeto que es asociado a una de las clases o como una nueva clase desconocida.

Ahora supongamos que una característica puede ser separada en dos clases, entonces 10 características pueden ser separadas en 2^10 = 1024 clases objetivas. Esto aumenta de manera exponencial el grado de dificultad de la clasificación.

4.2.1 Clasificación supervisada

- Consiste en determina los grupos que hay en el espacio, utilizando objetos conocidos de antemano y comparándolos con áreas de la imagen.

- Entonces sabemos el número de clases, su localización y extensión es el espacio de características; este es un resultado objetivo, pero la separación de clase no es tan favorable.

4.2.2 Clasificación Look-up

- Se toma el espacio de características y se marca cada célula según la clase a la que pertenece, se tendrán una cantidad se células que no pertenecen a ninguna clase y estas serán marcadas con ceros.

- En el caso de grupos que pertenezcan a dos clases, se tienen dos opciones: primero podremos tomar una clase que muestra la probabilidad más alta en esta célula y segundo, se puede hacer que clasificación error-libertad, con excepción de las células marcadas con cero.

- Se crea un vector M que contiene las características obtenidas y es comparado con la tabla de característica multidimencional para ver a que clase pertenece.

- Está técnica presenta una desventaja al igual que muchas otras, requiere una cantidad enorme de memoria para el almacenamiento de las tablas de consulta.

4.2.3 Grupos (Cluster)

Un conjunto de características P forman P-DIMENSIONAL en el espacio M, denotado como un espacio de características o espacio de medida. Cada píxel es representado como un vector de características en este espacio. Si las

características representan una clase objetiva, todos los vectores de características de los objetos de esta clase, deben estar cerca uno del otro en el espacio de características. Consideramos la clasificación como un proceso estadístico y asignamos una función P-DIMENSIONAL de la densidad de la probabilidad a cada clase objetiva. En este sentido, nosotros podemos estimar esta función de la probabilidad tomando las muestras de una clase objetiva dada, calculando el vector característico e incrementando el punto correspondiente en el espacio distinto de la característica. Este procedimiento es que de un histograma P-DIMENSIONAL generalizado.

4.3 Algoritmo

Teniendo en cuenta todo lo anterior, la detección de la mosca blanca será como se muestra en la ilustración de la figura 19, donde se puede observar que se colocaron las trampas al nivel de las cimas del cultivo, para que la mosca sea atraída por la trampa. Después obtenemos imágenes con la cámara digital, para poder analizarlas mediante operaciones morfológicas y así, contabilizar y clasificar la plaga en estudio.

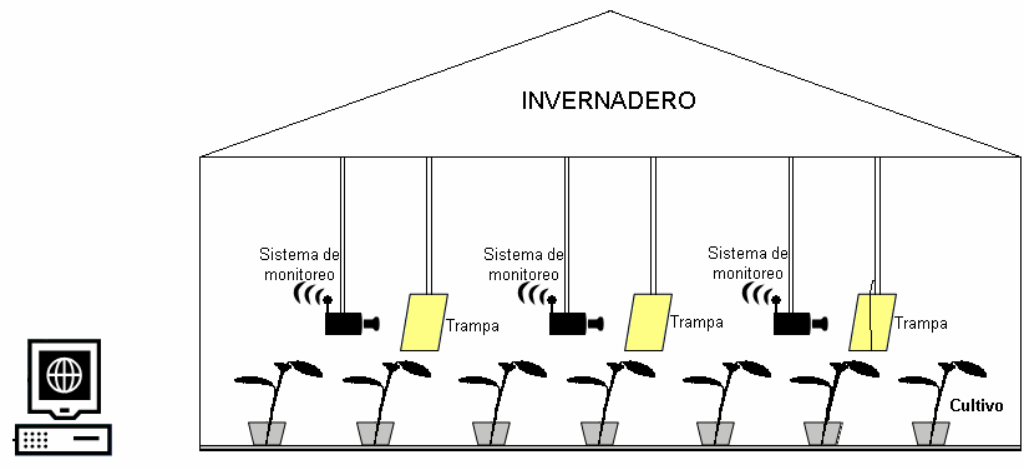


Figura 19. Diagrama general del sistema de monitoreo

Para poder desarrollar la clasificación, obtuvimos muestras de trampas de diferentes invernaderos y así tener un rango más amplio de imágenes con

las cuales trabajar. Hecho esto, se procesaron las imágenes en MATLAB donde se realizaron operaciones morfológicas aplicadas a visión artificial, con el propósito de obtener un algoritmo que fuera capaz de monitorear, identificar y clasificar dentro de un sistema de producción intensiva.

Ya entrando en materia, y contando entonces con varias muestras de imágenes de trampas (obtenidas con la cámara digital Panasonic), se aplicó el algoritmo de sobel para que de esta manera tuviéramos la imagen con un contorno de un solo píxel, y esto facilitara la aplicación de otras operaciones morfológicas sin tener errores o datos no deseados, como por ejemplo en caso de una suma o resta de minkowski (dilatación y erosión respectivamente) en caso de tener un contorno de dos píxeles.

Tomando en cuenta lo anterior se obtuvo el gradiente de magnitud de la imagen, así como el threshold (umbralización) mediante el método de Otsu (1979). Se invirtió la imagen para obtener mejores resultados en las operaciones morfológicas futuras. Después de invertir la imagen se obtuvo la mediana para eliminar los puntos aislados que se encontraban presentes, también se elimino lo que ese encontraba en el borde de la imagen ya que estos datos no muestran información relevante. Procedimos a rellenar los hoyos que se generaron por las operaciones morfológicas aplicadas (ya que de no ser así podrían presentarse problemas en los resultados) y una vez segmentadas las diferentes regiones se etiquetaron cada una de ellas.

Una vez etiquetados cada uno de los objetos por el algoritmo de Haralick (1992), se obtuvo la identificación de los posibles insectos en las trampas, pero aun nos tuvimos que asegurar que fuera mosca blanca.

Para la clasificación, primero tuvimos que obtener de nuestra imagen etiquetada: el área, el centro de masa, la excentricidad y la solides de cada una de las regiones detectadas, en otras palabras las propiedades de cada región. Hecho lo anterior, la imagen tuvo que ser filtrada por área y solides, y de esta

manera procesar cada una de las muestras para detectar las posibles plagas, así como la obtención de graficas de área y excentricidad, al igual que área y solides. Esto nos permite visualizar las propiedades de cada una de los insectos y así poder clasificarlos.

Se procedió a llevar a cabo una depuración minuciosa del algoritmo desarrollado, para así verificar que el procesamiento requerido se efectuará con la mayor rapidez y eficacia posible. Logrando de esta manera una portabilidad en el algoritmo, para que sea adaptable a cualquier lenguaje de programación.

Al procesar las imágenes, se hizo una comparación entre las imágenes obtenidas en un día y las de días subsecuentes, para poder analizar su varianza, evolución y algunos datos históricos. De esta manera, definimos los cambios que se presentaron e hicimos una comparativa, con datos que se poseen de temperatura y humedad del invernadero a lo largo del día.

Toda la información que se recolecto en el transcurso del día, es almacenada como un dato en la memoria RAM del sistema de monitoreo (figura 20). Estos datos pueden ser consultados, comparados o evaluados por personal experto en la rama de plagas.

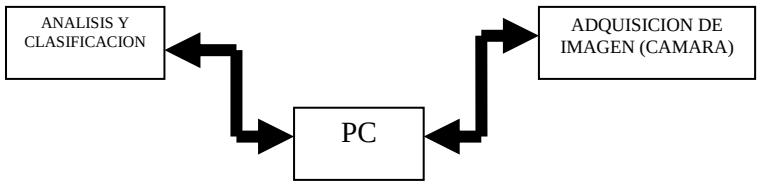
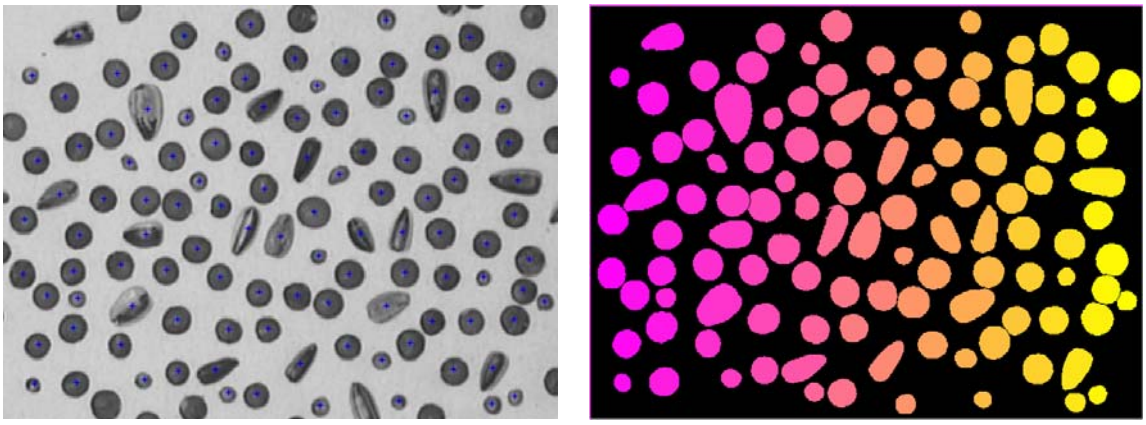


Figura 20. Sistema de monitoreo

5 Resultados y discusión

La validación del algoritmo desarrollado para identificar las características geométricas de los objetos, fue realizada mediante el uso de un set de imágenes en donde se tienen tres tipos de semillas diferentes: semillas de girasol, semillas de lenteja y semillas de pimienta. Estos tipos de semillas, son diferentes tanto en área como en forma, de las cuales se segmentó la imagen y se obtuvieron las diferentes propiedades de cada elemento encontrado, se etiquetaron y se marcaron los centros de gravedad de cada uno de ellos (figura 21.a)

Una vez que se identifico cada elemento de la imagen segmentada (figura 21.b), se cuenta con las propiedades de los elementos tales como el área, excentricidad, solidez, centro de gravedad (centroide) y orientación.



(a) (b)

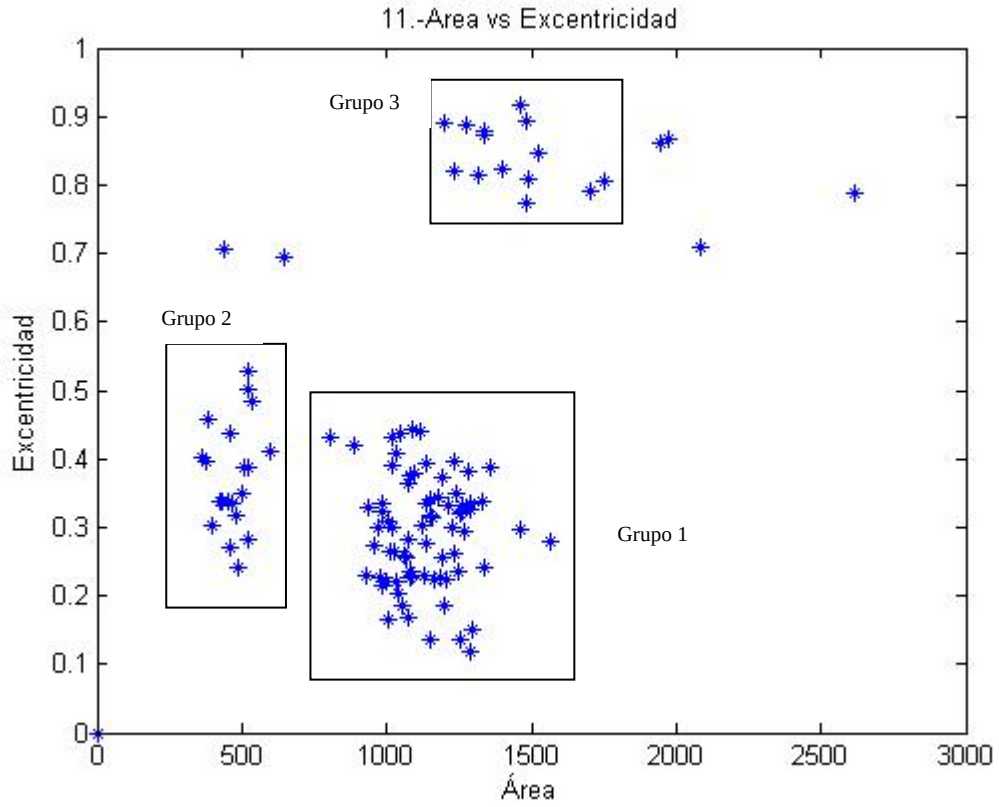
(a)Imagen de diferentes tipos de semillas utilizada en el análisis de de nuestro algoritmo (b) Imagen segmentada para conteo y clasificación

Figura 21. Semillas

Con los datos obtenidos de las imágenes anteriores, se pueden graficar y de esta manera tener una clasificación de los elementos. Donde graficamos el área contra la excentricidad, de las cuales la excentricidad nos indica que tan redondo es el objeto, mientras más se acerque al cero más redondo es. Si es cero, esto nos indica que la forma del elemento en cuestión es de un círculo y

si es uno, entonces es una línea. En nuestro caso contamos con tres tipos diferentes de semillas, cada una con diferentes tipos de redondez y área.

Se identificaron fácilmente los tres grupos diferentes de semillas presentes en la imagen (figura 22), pero existen algunos elementos que no pudieron ser identificados dentro de alguno de los grupos. En especial, sucedió con algunas semillas de girasol, y esto se debe a su gran parecido con de lenteja. Estos elementos no clasificados, quedaron fuera de nuestra clasificación.

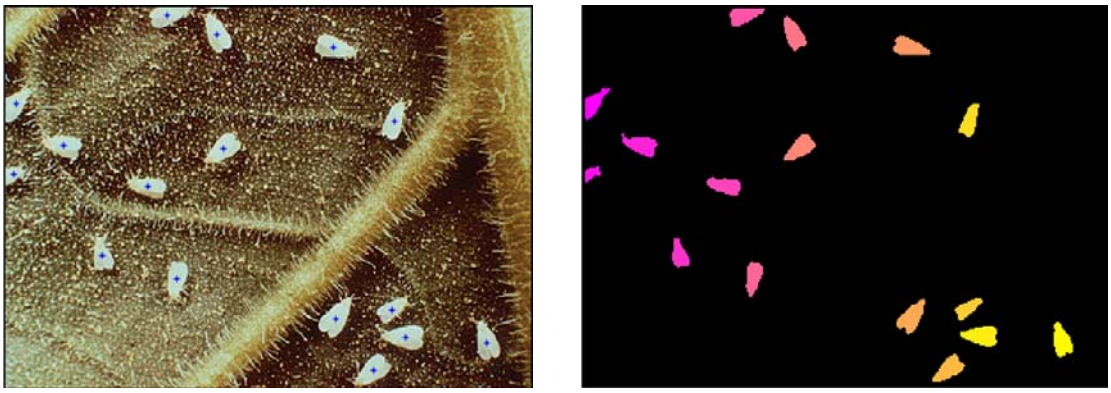


Área-Solides en los cuales se pueden apreciar los diferentes grupos de semillas encontrados; Grupo 1Son semillas de lenteja con una redondez casi parecida a un circulo; Grupo 2 Son semillas de pimienta con un área menor y con menor redondez que las semillas de lenteja; Grupo 3 Son las semillas de girasol con un área mayor y un grado mucho menor de redondez mas cercana a la elipse.

Figura 22. Resultados obtenidos referentes al área-excentricidad

Una vez que ya se probó el algoritmo, se procedió a trabajar directamente con las imágenes donde se encuentran las moscas blancas (Homóptera: Aleyrodidae). Se procedió de la misma manera que con la clasificación de las semillas. Primero se segmento, se encontró el área, excentricidad, solides, centro de gravedad (centroide) y orientación. Se tiene la imagen original (figura 23.a) donde marcamos los centros de masa de cada uno de los elementos. Cabe mencionar que los elementos que se encuentran en los bordes fueron despreciados, ya que la información proporcionada no era de utilidad.

Etiquetadas las moscas blancas (figura 23.b), y conociendo las propiedades mencionadas en el párrafo anterior, obtuvimos un buen índice de forma, ya que todas ellas tendrán una excentricidad muy similar. Con lo que respecta al área, sabemos que existe una variación entre ellas, pero todas presentan una forma muy parecida: triangular. En este caso se logra aislar únicamente los elementos involucrados en el estudio.



(a) (b)

(a) Imagen de diferentes tipos de la mosca blanca utilizada en el análisis de de nuestro algoritmo; (b) Imagen segmentada para conteo y clasificación

Figura 23. Insectos segmentados

En el caso de las moscas blancas fue básico aplicar un filtro de área a la imagen, ya que si no lo hacíamos se presentaban muchas partículas sin importancia, dificultando el procesamiento de la imagen. Pero el filtro que realmente hizo la diferencia, fue el que se aplico con respecto a la excentricidad de cada partícula, ya que en base al filtro de área, se encontraron

muchas partículas de la misma área pero con diferente forma a la triangular. Después al obtener la solides, se logro discriminar lo que no era mosca blanca. Ahora bien, teniendo en cuenta los resultados de la grafica de las semillas, podemos considerar que la excentricidad de la mosca blanca (figura 24) se encuentra muy cercana del 0.9, lo que nos indica que la forma de las partículas es muy parecida a un triangulo.

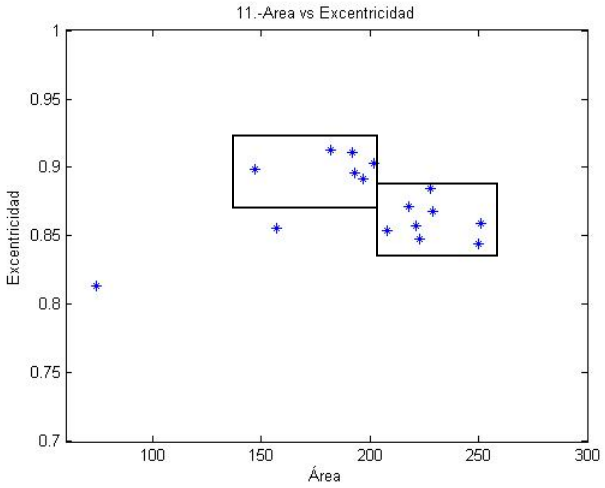


Figura 24. Moscas blancas con excentricidad similar y área diferente

De la grafica anterior, se puede cuantificar el número de moscas blancas, así como su excentricidad y área. Como habíamos mencionado la excentricidad se encuentra alrededor de la franja de 0.8 y 0.95, en este caso el resultado de franja se encuentra cercana al índice de umbralización. En cuanto al área, esta nos puede decir en que etapa del desarrollo se encuentra la plaga, si tomamos en cuenta que la forma es similar solo cambiaria el tamaño.

Si comparamos los resultados obtenidos en la grafica de la figura 22, con los de la grafica de la figura 24, observamos claramente que la excentricidad de las semillas de girasol, es similar a la excentricidad de la mosca blanca, esto se debe a la similitud en su índice de forma (triangular). Debido a esto, se tomo como imagen de calibración las semillas antes analizadas, para dar validez en caso de presentarse otro tipo de plaga dentro de la imagen.

5.1 Experimento

Una vez probado el algoritmo con diferentes tipos de imágenes y comprobando que se si logran aislar los diferentes grupos que forman las clases (de acuerdo al área, solidez y excentricidad), desarrollamos un experimento para corroborar que el algoritmo funciona en la practica. El experimento fue desarrollado en un invernadero tipo capilla de la compañía Richel (figura 25), que cuenta con una superficie total de 5000m^2 y un eje longitudinal en dirección Este-Oeste, con ventas en cumbrera Norte-Sur.

Figura 25. Invernadero tipo capilla de la compañía Richel

El invernadero en que se realizo el experimento esta ubicado (figura 26) en domicilio conocido de una comunidad de San José Iturbide, Guanajuato llamada “La Fragua”. Esta comunidad se encuentra a un costado de la carretera 57 Querétaro-San Luis Potosí, iendo en dirección Sur a Norte, como a 10km adelante de la desviación a San José Iturbide.

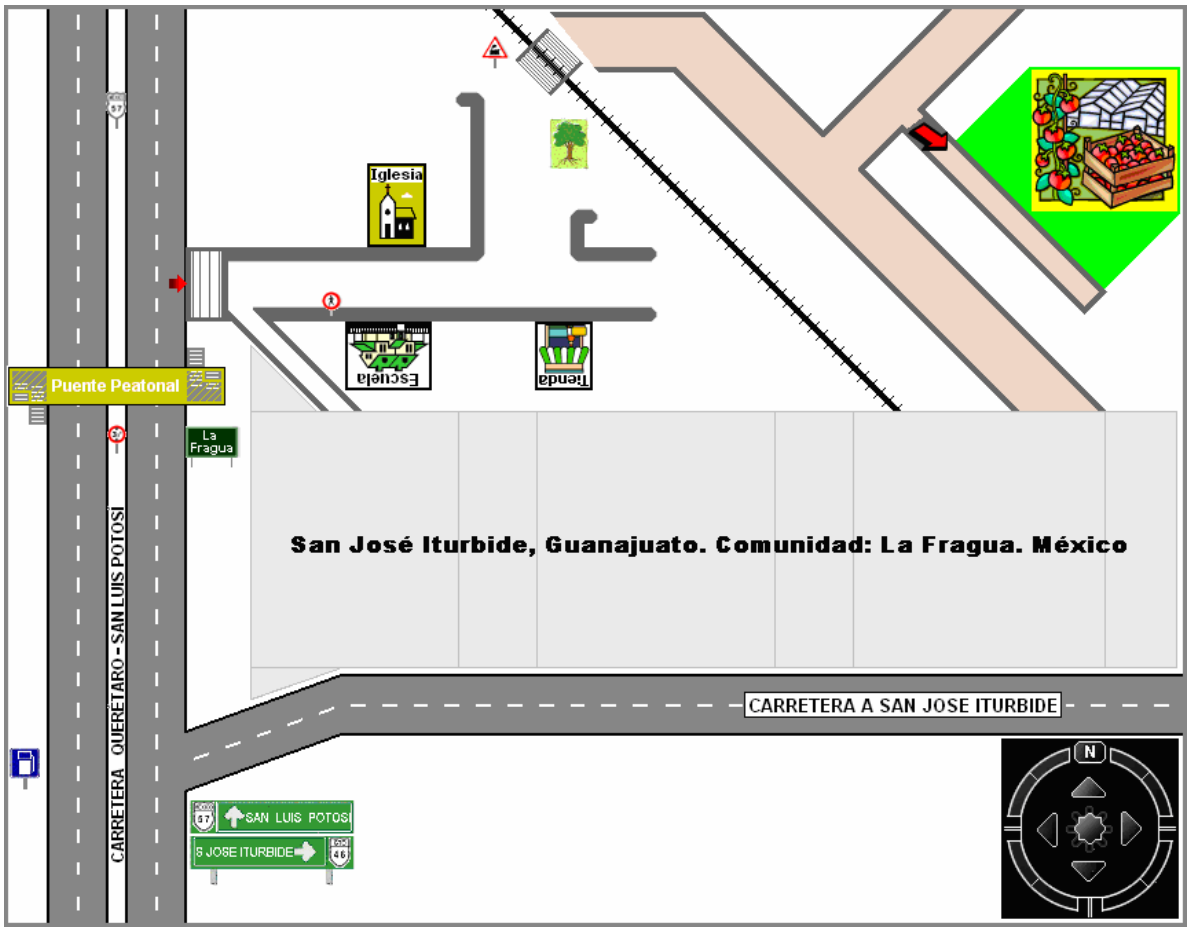


Figura 26. Croquis de ubicación del invernadero

La primera parte del experimento consistió en la elaboración de las trampas de caza, para las diferentes posibles plagas que se encontraran dentro invernadero. Las características principales de las trampas se enlistan a continuación:

- Dimensiones: 29X21 cm.
- Con doble cara.
- Material: acrílico.
- Forradas con plástico color amarillo.
- Se les untó feromonas (spidertack).

Al centro de cada trampa y por los dos lados, se coloco una etiqueta (2.5X2.5 cm.) de color blanco. Esta etiqueta tiene un número de identificación (1 al 10) y una letra (A o B). Al conocer nosotros las medidas de las trampas (29X21 cm.) y las de las etiquetas (2.5X2.5 cm.), nos es posible determinar las dimensiones reales de los insectos atrapados dentro de alguna de las trampas, haciendo una correlación entre los elementos conocidos (características de la trampa) y las dimensiones de los elementos desconocidos (mosca blanca).

Este invernadero contaba con dos tipos de cultivos diferentes. La mitad estaba sembrada de fresa y la otra mitad de jitomate (figura 26). La parte sembrada con jitomate se dividía a su vez en dos secciones, la primera con la planta de jitomate ya crecida como a una altura de 3m. y la segunda sección era de jitomate recientemente plantado, el cual tenía una altura promedio de 35cm.

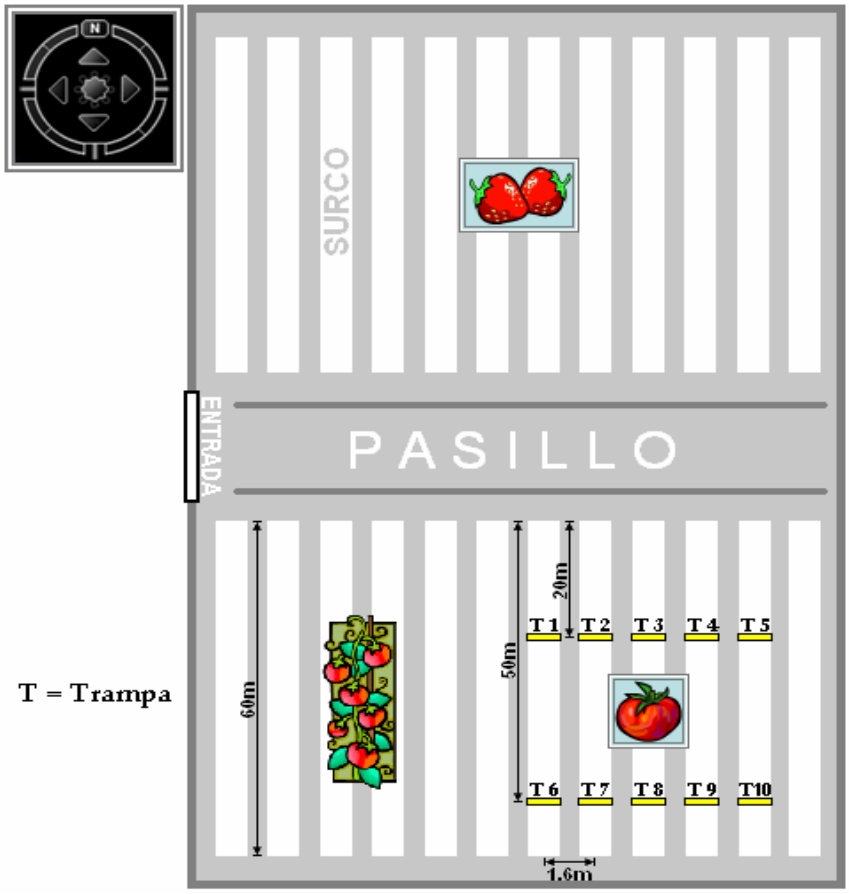


Figura 27. Croquis de distribución dentro del invernadero

El experimento, tubo inicio el día 21 de marzo de 2007 a las 1:45 p.m. iniciando con la colocación de 10 trampas para colecta de plagas. Estas fueron suspendidas a una altura de 40cm a partir del surco (figura 28), de manera que se encontraran cerca del cultivo.

Figura 28. Colocación de trampas

La distribución de las trampas fue de la siguiente manera (figura 27, figura 29): cada dos surcos se coloco una trampa, teniendo en cuenta que la distancia entre surco y surco era de 160cm.; se colocaron en grupos de 5 trampas en hilera, los primeros cinco a 20m a partir del pasillo y los otros 5 a 50m a partir del pasillo.

Figura 29. Distribución de las trampas

La primera colecta de trampas se llevo a cabo el día 24 de marzo de 2007 a las 10:40 a.m., en esta ocasión solo se recolectaron las trampas 1, 4, 6 y 8. Reposicionamos las trampas 2, 3, 5, 7, 9 y 10, a una nueva altura de 60cm. a partir de surco esto debido a que el cultivo había crecido un poco.

Las muestras retiradas del invernadero fueron transportadas en cajas de cartón (figura 30), con pliegos de unicel colocados en los costados internos de la caja. Las trampas fueron colocadas a una separación de 10cm. entre ellas, para evitar su contacto. Las cajas fueron elaboradas con tales características, con el fin de facilitar su transporte y asegurarse de que las trampas no resultaran dañadas, ya que la sustancia (feromonas) con que estas están impregnadas es muy pegajosa y cualquier contacto entre ellas provocaría perdida de información.

De esta manera aseguramos que muestras obtenidas (trampas) no presentaran alteraciones y así empezar el pre-procesamiento de las mismas y llevar el conteo de forma manual, para después comparar este con el conteo obtenido con nuestro algoritmo.

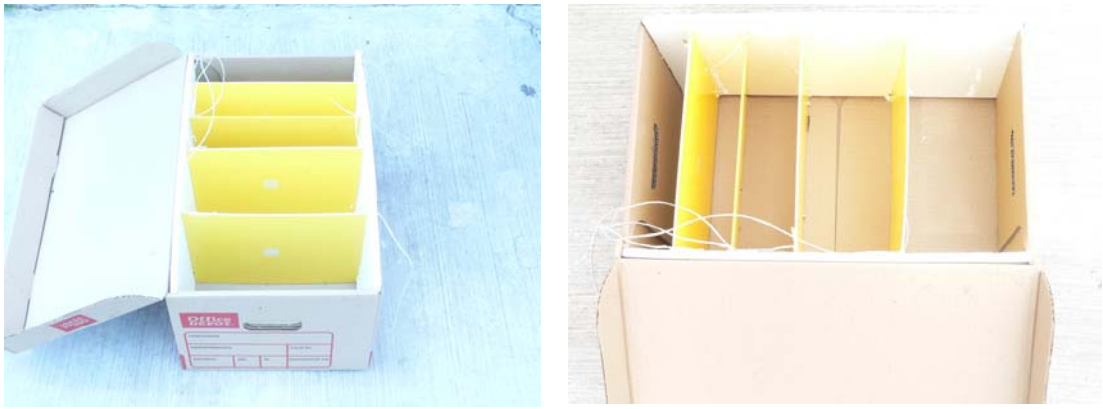


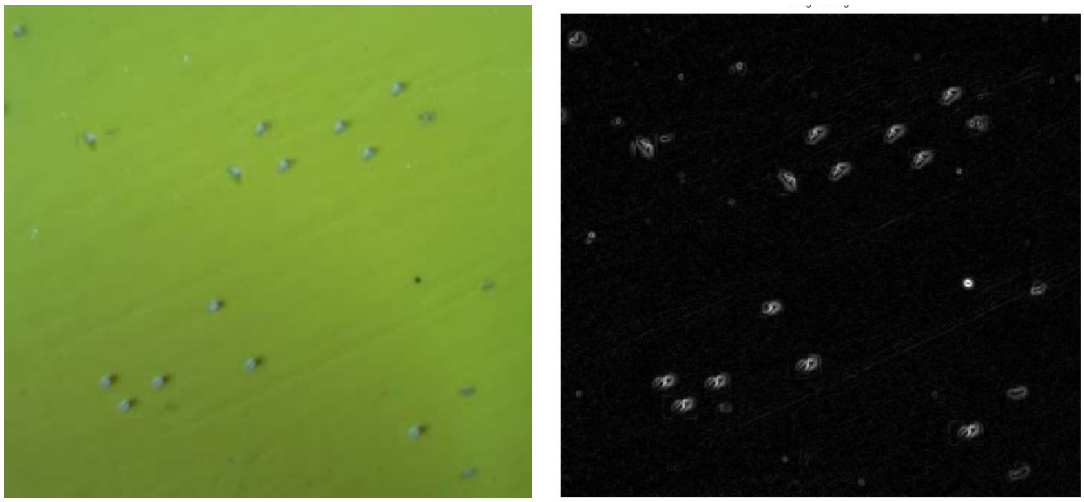
Figura 30. Caja para transportar las trampas

La colecta de las últimas trampas se llevo acabo el día 31 de Marzo de 2007 a las 11:00 a.m., recolectando las trampas 2, 3, 5, 7, 9 y 10. Esto se realizo una semana después que la primera colecta, con el fin de obtener muestras con un mayor número de insectos. En el nuestro caso particular la plaga de interés era la mosca blanca.

Una vez concluido el trabajo en campo, nos dimos a la tarea de de cuantificar y clasificar de manera manual, cada uno de los insectos contenidos en las trampas Se determinó cuantos de ellos eran moscas blancas y se

procedió a la captura de imágenes con la cámara digital, lista para ser analizadas con nuestro algoritmo.

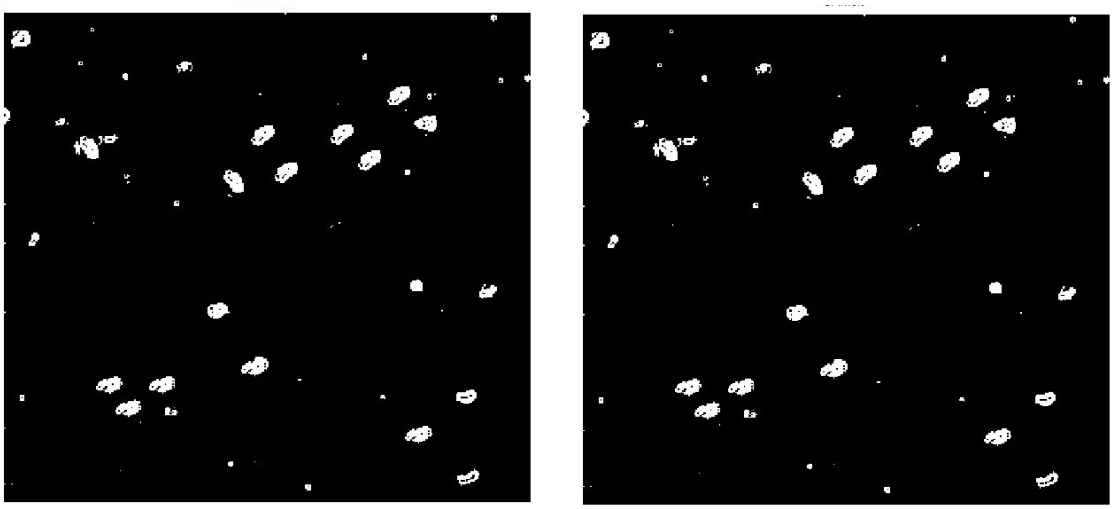
De cada trampa se obtuvo una imagen, la cual fue analizada de la siguiente manera, de la imagen original aplicamos el algoritmo de gradiente de magnitud (sobel), dándonos como resultado la identificación de los objetos mediante su contorno. En la imagen del gradiente de magnitud (figura 31.b) se puede apreciar que se alcanzan a segmentar todo tipo de basuras (ruido), así como las franjas que se ocasionaron con la colocación de las feromonas (untada con brocha), lo que nos indica que se tiene que trabajar en la eliminación de los objetos detectados no deseados.



(a) **Original** (b) **Gradiente de magnitud**

Figura 31. Gradiente de magnitud

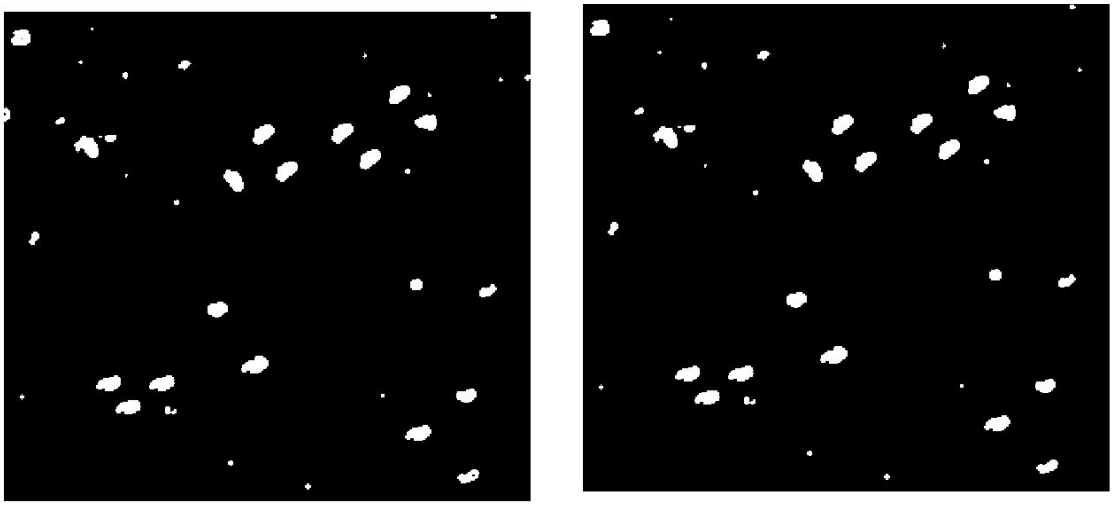
De que manera eliminamos esos residuos segmentados, bueno tenemos que umbralizar la imagen (figura 32.a), método Otsu (1979), para separar los objetos que nosotros nos interesan y dejar fuera lo que existe en el fondo de la imagen, de esta manera solo nos quedan pequeños objetos de diferentes formas y tamaños. A continuación invertimos la imagen para tener una separación mas marcada de los objetos que se encuentran en la imagen (figura 32.b).



(a) Umbralización **(b)** Invertida

Figura 32. Segmentación

Podemos observar (figura 32) como se encuentran puntos aislados de objetos que en realidad no arrojan información importante, y objetos en los bordes de la imagen. Para eliminar los puntos aislados aplicamos un filtro mediana (figura 33.a) y para los bordes eliminamos todo lo que se encuentre en la frontera (figura 33b), ya que la información proporcionada por estos elementos esta incompleta. De esta manera podemos trabajar con una imagen un poco mas limpia y libre de objetos sin información.



(a) Mediana **(b)** Sin fronteras

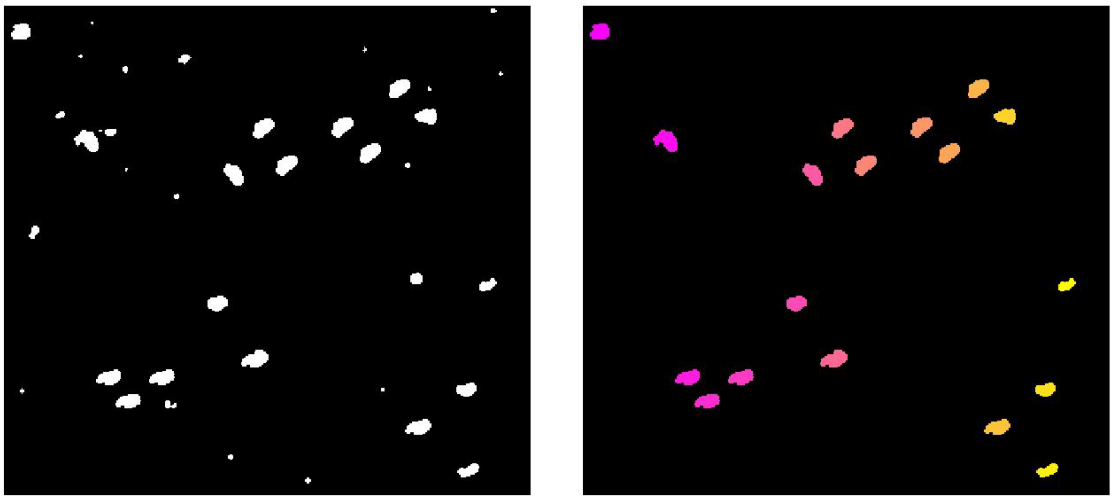
Figura 33. Eliminación de puntos aislados

De cada objeto presente en la imagen se rellenaron los hoyos que se generaron por las operaciones morfológicas aplicadas, y por el algoritmo de

Haralick (1992) se etiquetaron los objetos (figura 33), y se identifico la posición de cada uno mediante la función distancia y así obtenemos las propiedades de cada uno de ellos, como es el área, que tan sólido es y que tan redondo es (excentricidad).

Con la información hasta el momento obtenida, nos es posible aplicar filtros para tratar de identificar a la mosca blanca. Los filtros más útiles aplicados para nuestro propósito son filtrar por área, solidez y excentricidad.

Una vez que aplicamos los diferentes filtros, volvemos a etiquetar cada uno de los objetos (figura 34) y aplicamos la función distancia para obtener de nuevo las propiedades de cada objeto.

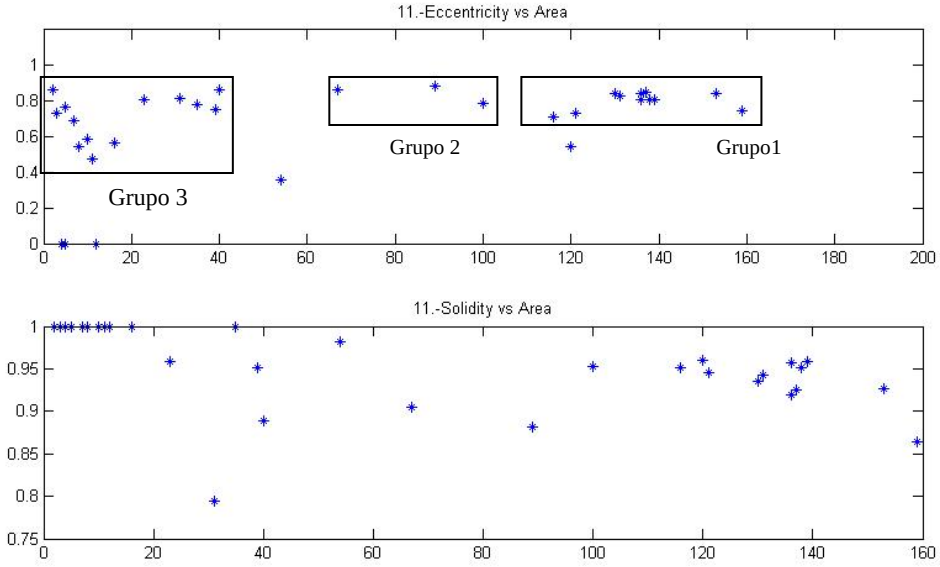


(a) Primer etiquetado **(b)** Segundo etiquetado

Figura 34. Etiquetado

Dentro de las propiedades que encontramos, esta la de la identificación de los centros de gravedad de cada objeto, esta es de gran ayuda para saber que tan redondo es cada objeto, así como su área.

Para su mayor comprensión, graficamos el área contra la excentricidad de la imagen (figura 35) con el primer etiquetado, para ilustrar cuantos objetos tenemos, así como el área y excentricidad de cada objeto.



El Grupo 1 y 2 son moscas blanca, el grupo 3son elementos que no cumplieron las propiedades de la clase

Figura 35. Grafica de excentricidad vs. área del primer etiquetado

Una vez que etiquetamos por segunda vez, sobreponemos en la imagen original los centros de gravedad (figura 36) que obtuvimos mediante el algoritmo, para ver si corresponden. En la realidad cabe recordar que ya en este momento conocemos las propiedades de cada elemento presente en la imagen.

Figura 36. Imagen original indicando los centros de masa

Teniendo el centro de masa podemos graficar las propiedades presentes en la imagen del segundo etiquetado, y de esta manera formar los grupos y poder definir a que clase pertenecen (figura 37), en este caso nos interesan las que pertenecen al grupo de mosca blanca.

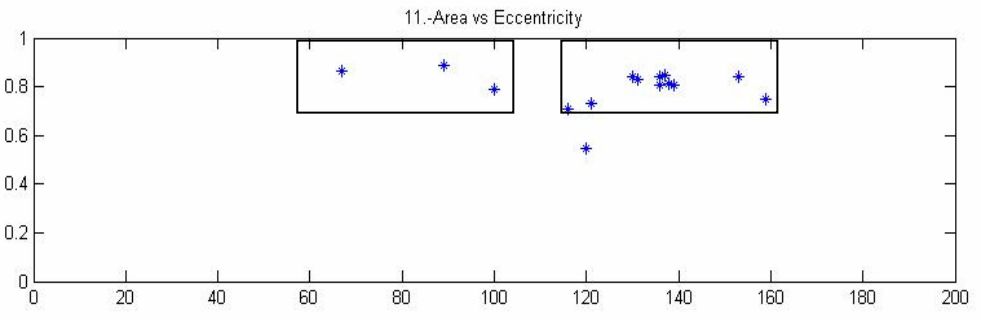


Figura 37. Grafica de la excentricidad de la mosca blanca

En cada una de las trampas y por las dos caras, se aplico el mismo procedimiento para la definición de grupos y de esta manera identificamos las clases. También cuantificamos por medio del algoritmo la cantidad de mosca blanca y de otros objetos (otras plagas o basura) que contenía cada trampa.

A continuación haremos el análisis y comparación entre la cuantificación de manera manual y con nuestro algoritmo (visión artificial), del número de objetos encontrados y cuantos de esos fueron mosca blanca.

La Tabla 1 contiene toda la información recopilada sobre los objetos encontrados en cada una de las trampas. La columna de *muestras* contiene la numeración de las trampas, así como una letra (A o B) que nos índica a que cara de la trampa corresponde. La columna de *otros objetos*, indica el número de otros insectos o basuras encontradas en la trampa por medio del nuestro algoritmo (visión artificial), los cuales no fueron clasificados como mosca blanca.

Muestras	Mosca blanca conteo anual	Mosca blanca conteo visión artificial	Otros Objetos visión artificial
1.A	21	18	0
1.B	16	15	1
2.A	32	31	8
2.B	26	26	12
3.A	30	28	5
3.B	23	20	7
4.A	8	8	2
4.B	12	12	3
5.A	28	27	6
5.B	24	24	8
6.A	10	7	3
6.B	12	12	1
7.A	20	20	5
7.B	24	23	4
8.A	11	9	0
8.B	8	7	2
9.A	20	18	7
9.B	19	19	4
10.A	25	21	8
10.B	21	21	9

Tabla 1. Resultado del conteo de objetos de las trampas

Se puede observar en la tabla 1 que el número de moscas blancas cuantificado manualmente es muy similar al obtenido por visión artificial. Las diferencias que existen, se deben principalmente a la posición en que quedaron atrapadas las moscas en la trampa y a las condiciones de luz del día y la hora a la que fueron adquiridas las imágenes (fotografías). Para observar de manera gráfica estos resultados y obtener la correlación de de nuestro experimento, elaboramos la siguiente gráfica (figura 38).

Es importante mencionar, que el coeficiente de correlación con lo que respecta al conteo de la mosca blanca de manera manual y por medio de visión artificial, es de **0.98.**

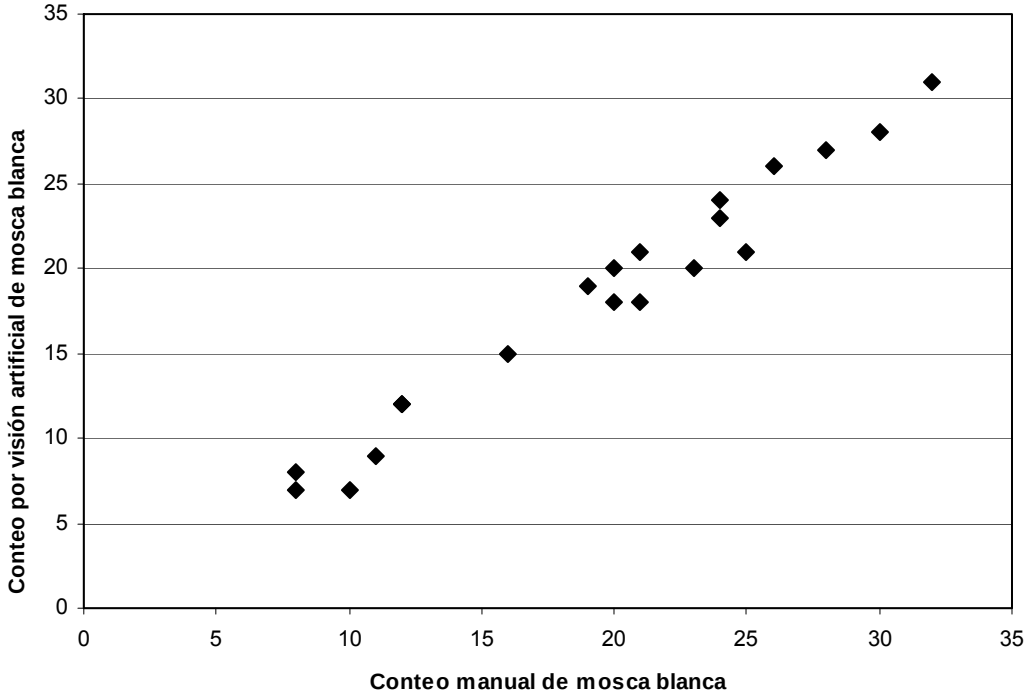


Figura 38. Correlación del conteo de mosca blanca

De los insectos presentes en cada una de las muestras que se identifico de manera visual, también se identifico aproximadamente el mismo número de insectos con nuestro algoritmo y se logro la correcta clasificación de los grupos formados por moscas blancas, esta clasificación de los grupos lo hemos logrado mediante lo mencionado con anterioridad (área, solidez y excentricidad). En algunos caso discrimino algunos objetos del grupo formado, esto debido a que no cumplió con nuestras condiciones de la clase, pero que en efecto este objeto si era una mosca blanca, el porque de esta discriminación fue que el insecto quedo atrapado de lado o de frente en la trampa.

5.2 Conclusiones

La metodología presentada demostró ser eficiente en la identificación y clasificación de diferentes objetos dentro de una imagen, dependiendo de sus características morfológicas. Al aplicar los algoritmos desarrollados y

validados a imágenes reales de insectos (mosquita blanca), éstos demostraron la posibilidad de la aplicación de las técnicas de procesamiento de imágenes, dentro del campo de la agricultura de precisión. Estableciendo una pauta para la clasificación de las proyecciones de insectos dentro de una imagen digital.

Los resultados mostrados en este trabajo presentan el análisis de las características geométricas de los insectos, que influyen principalmente en la producción bajo invernadero, que permiten establecer una clasificación respecto su especie y etapa biológica. En el caso de la mosquita blanca, visiblemente es detectable que poseen forma triangular, por lo tanto el índice determinante para su identificación fue la excentricidad de su proyección, estableciéndose un rango de umbral entre 0.8 y 0.92; lo cual hace posible su identificación aún en condiciones de iluminación deficientes. Es necesario un estudio más detallado que incluiría la asesoría por parte de personal capacitado en el área de la entomología para establecer una relación determinante entre el área de la proyección y la etapa biológica. Sin embargo, ésta primera aproximación demostró que las técnicas de visión artificial son una herramienta fundamental dentro del proceso de automatización de exploración de insectos en los sistemas de producción bajo invernadero, bajo el concepto de agricultura de precisión.

En un sistema de producción automatizado es imprescindible monitorear constantemente de manera visual los cambios que ocurren en las trampas para los insectos. Se observo una drástica reducción del tiempo invertido en el monitoreo y seguimiento del impacto de las pestes al interior de un invernadero mediante el uso de la metodología propuesta en el presente trabajo. Por otra parte, dado la naturaleza digital de los datos obtenidos, es factible de almacenar dichos datos para la creación de historiales y dinámicas del impacto de las pestes sobre los cultivos.

No solo se tiene un impacto de ahorro de tiempo en la exploración de insectos, si no que la detección temprana de la plaga nos permitirá tomar

medidas preventivas y correctivas a tiempo, teniendo como resultado una menor pérdida de producto.

Así mismo la metodología utilizada para la identificación y clasificación de la mosca blanca, es nuestra principal aportación científica dejándonos un amplio horizonte de trabajo futuro.

En trabajos subsecuentes, se propone aplicar la presente metodología para la identificación de diferentes patrones geométricos de otras pestes que afectan a los cultivos bajo invernadero.

Esta metodología nos abre las puertas para un desarrollo tecnológico, de tal manera de que el algoritmo descrito en este trabajo, sea implementado en Hardware dentro de un FPGA, de esta manera aprovechar la capacidades del FPGA para darle mas velocidad de procesamiento a nuestro algoritmo y tener la posibilidad de implementarse el sistema en un solo dispositivo (SOC).

6 Bibliografía

Garcia J J., R Castañeda, R. Peniche, V. Hernández, G.Herrera. 2005. Greenhouse Climate Control Based on Crop Modeling and Digital Image Processing. Journal,

Chwan-Lu T., J. Joe-Air, L. Ren-Guey, Fu-Ming Lu, Cheng-Shiou Ouyang, Yih-Shaing Chen and Chih-Hsiang Chang (2006)**.** Feasibility study on application of GSM–SMS technology to field data acquisition.

Harman I. T. and V. A. Drake. 2003. Insect monitoring radar: analytical time-domain algorithm for retrieving trajectory and target parameters

Drake V. A., H. K Wang. and I. T. Harman. 2002. Insect monitoring radar: remote and network operation

Dennill G. B. and M. J. Erasmus. 2003. Basis for a practical technique for monitoring trips in avocado orchards

Hajimowlana S. H., R.Muscedere, G.A Jullien. and J. W. Roberts. 1999. An In-Camera Data Stream Processing System for Defectt Detection in Web Inspection Tasks. *Real-Time Imaging* 5, 23-34

Romero R. J., 2000. Sistemas digitales con VHDL. Legaria Ediciones

Maohua W. 2001. Possible adoption of precision agriculture for developing countries at the threshold of the new millennium. Computers and electronics in agriculture, 30, 45-50

Ashour M.A. and H.I.Saleh. 1999. An FPGA implementation guide for some different types of serial–parallel multiplier structures

Hajimowlana S. H., R.Muscedere, G. A. Jullien and W. R. James. 1999. An In-Camera Data Stream Processing System for Defect Detection in Web Inspection Tasks

Dicka C. and F.Harris. 1999. Virtual signal processors

Auernhammer H., 2001. Precision farming — the environmental challenge

Staiord J. V., 2001. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century

Musuna A. C. Z., 2003. A method for monitoring whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.), in cotton in Zimbabwe

Bongiovanni R., (2003). La Agricultura de Precisión en la cosecha, www.e-campo.com

Von Martín A., M.Bragachini, A.Bianchini. 2005. Percepción Remota http://www.elsitioagricola.com/Vinculos/busquedaVinculos.asp

Corwin D.L. and R.E. Plant. 2004. Applications of apparent soil electrical conductivity in precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture

Nelson A. E. (2000). IMPLEMENTATION OF IMAGE PROCESSING ALGORITHMS ON FPGA HARDWARE.

THORP K. R. and L. F.TIAN. 2004. A Review on Remote Sensing of Weeds in Agriculture

Sklyarov V. 2004. FPGA-based implementation of recursive algorithms. Microprocessors and Microsystems

Bouridane A., D.Crookes, P.Donachy, K.Alotaibi, K. Benkrid. 1999. A high level FPGA-based abstract machine for image processing. Journal of Systems Architecture 45 (1999) 809±824

Oldknow K.D.and I.Yellowley. 2001. Design, implementation and validation of a system for the dynamic reconfiguration of open architecture machine tool controls International Journal of Machine Tools & Manufacture 41 (2001) 795–808

González R.C. and P.Wintz. 1977. Digital Image Processing. Adisson-Wesley

7 Apéndice A. Programa

Código de programa en matlab para la identificación y clasificación de mosca blanca

```
rg=imread('t36b.bmp');
figure; imshow(rg); title('1.- Original');

rgb = rgb2gray(rg);
figure; imshow(rgb); title('1.- Escala de grises');

hy = fspecial('sobel');
hx = hy';
Iy = imfilter(double(rgb), hy, 'replicate');
Ix = imfilter(double(rgb), hx, 'replicate');
gradmag = sqrt(Ix.^2 + Iy.^2);%gradiente de magnitud
figure; imshow(gradmag,[]); title('2.- gradmag');
pp =  uint8(gradmag);
figure; imshow(pp,[]); title('3.- 8 bits');

se = strel('disk',1);

closepp =imclose(pp,se);
figure; imshow(closepp);title('4.- cerradura');

openpp = imopen(closepp,se);
figure; imshow(openpp);title('5.- apertura');


%level = graythresh(pp);
level = 0.1;
bw = im2bw(pp,level);

figure; imshow(bw); title('4.-threshold');

%Invertir%
 bw = ~bw;

figure; imshow(bw); title('6.-invert');

I3 = medfilt2(bw,[3 3]);
figure; imshow(I3); title('7.-Mediana');

ii = imfill(I3,'holes');
I3 = imclearborder(ii);

figure; imshow(I3); title('7.-No border');
```

```
[labeled,numObjects] = bwlabel(I3,4);
figure; imshow(labeled); title('7.- Etiquetada');
numObjects;
pseudo_color = label2rgb(labeled, 'spring', 'k');
figure; imshow(pseudo_color); title('8.- Coloreada');

I4 = edge(I3, 'canny');
figure; imshow(I4); title('9.-Contorno');


graindata = regionprops(labeled,'all');
A = cat(1, graindata.Area);
E = cat(1, graindata.Eccentricity);
P = cat(1, graindata.Orientation);
Sol = cat(1, graindata.Solidity);
figure; subplot(2,1,1); plot(A,E,'b*'); title('11.-Eccentricity vs Area');
        subplot(2,1,2); plot(A,Sol,'b*'); title('11.-Solidity vs Area');
area = 0;

for i=1:numObjects
    area = graindata(i).Area;
    e = graindata(i).Solidity;
     if (area < 60 || area > 255) || e < 0.8%%%%%%mosquitos
         for y = 1:360%%%%%%%%%%mosca blanca
            for x = 1:279%%%%%%mosca blanca
               if(labeled(x,y) == i)
                  I3(x,y) = 0;
               end
            end
         end
    end
end

figure; imshow(I3); title('10.-Filtro de area');

[labeled,numObjects] = bwlabel(I3,4);
figure; imshow(labeled); title('7.- Etiquetada filtrada');
numObjects;
NUMinsectos = numObjects

figure; imshow(labeled); title('7.- Etiquetada');
numObjects
pseudo_color = label2rgb(labeled, 'spring', 'k');
figure; imshow(pseudo_color); title('8.- Coloreada');

graindata = regionprops(labeled,'all');

 P=bwperim(labeled);
 figure; imshow(P); title('perimetro');
```

```
centroids = cat(1, graindata.Centroid);
figure
imshow(rg)%%%%%%%%%%%%solo mosquitos
imshow(rg)
hold on
plot(centroids(:,1), centroids(:,2), 'b*')
hold off

A = cat(1, graindata.Area);
E = cat(1, graindata.Eccentricity);
P = cat(1, graindata.Orientation);
Sol = cat(1, graindata.Solidity);
figure; subplot(2,1,1); plot(A,E,'b*'); title('11.- Eccentricity vs Area');
        subplot(2,1,2); plot(A,Sol,'b*'); title('11.- Solidity vs Area');
```

Comprobación del centroide

```
r=imread('seeds2.bmp');
rg=imread('t5.bmp');

rgb = rgb2gray(rg);

se = strel('disk',5);
bww = imerode(bw,se);
level = 0.3;
bw = im2bw(rgb,level);

figure; imshow(bww); title('1.-threshold');

I3 = imclearborder(bww);

figure; imshow(I3); title('2.-No border');

[labeled,numObjects] = bwlabel(I3,4);
numObjects;
pseudo_color = label2rgb(labeled, 'spring', 'k');
figure; imshow(pseudo_color); title('3.- Coloreada');

graindata = regionprops(labeled,'all');

centroids = cat(1, graindata.Centroid);
figure
imshow(r)
hold on
plot(centroids(:,1), centroids(:,2), 'b*')
hold off
```

Comprobación de segmentación por watershed

```
[labeled,numObjects] = bwlabel(gradmag,4);
numObjects
figure; imshow(labeled); title('6.- etiquetada');
pseudo_color = label2rgb(labeled, @jet, 'g', 'shuffle');
figure; imshow(pseudo_color); title('7.- Coloreada');


L = watershed(gradmag);
Lrgb = label2rgb(L);
figure, imshow(Lrgb), title('Lrgb');%sobresegmentacion

se = strel('disk', 20);
Io = imopen(rgb, se);%Calcula la apertura morfologica sobre la imagen original
figure, imshow(Io), title('Io');

Ie = imerode(rgb, se);
Iobr = imreconstruct(Ie, rgb);%apertura por reconstruccion
figure, imshow(Iobr), title('Iobr');

Ioc = imclose(Io, se);%cerradura morfologica sobre Io
figure, imshow(Ioc), title('Ioc');

Iobrd =          imdilate(Iobr, se);
Iobrcbr= imreconstruct(imcomplement(Iobrd), imcomplement(Iobr));
Iobrcbr= imcomplement(Iobrcbr);%cerradura por reconstruccion sobre Iobr
figure, imshow(Iobrcbr), title('Iobrcbr');

fgm = imregionalmax(Iobrcbr);%obtiene los marcadores de 1er plano
figure, imshow(fgm), title('fgm');

I2 = rgb;
I2(fgm) = 255;%imagen Iobrcbr superpuesta a la imagen original
figure, imshow(I2),    title('fgm superimposed on original image')

se2 = strel(ones(5,5));
fgm2 = imclose(fgm, se2);
fgm3 = imerode(fgm2, se2);
figure, imshow(fgm3)

fgm4 = bwareaopen(fgm3, 20);
I3 = rgb;
I3(fgm4) = 255;
figure, imshow(I3)
title('fgm4 superimposed on original image')

bw = im2bw(Iobrcbr, graythresh(Iobrcbr));
figure, imshow(bw), title('bw')
```

```
D = bwdist(bw);
DL = watershed(D);
bgm = DL == 0;
figure, imshow(bgm), title('bgm')

gradmag2 = imimposemin(gradmag, bgm     | fgm4);
ds=gradmag2-gradmag;
figure, imshow(ds)
figure, imshow(gradmag2,[])

L = watershed(gradmag2);
figure, imshow(L)

I4 = rgb;
I4(imdilate(L == 0, ones(3, 3)) | bgm | fgm4) = 255;
figure, imshow(I4)
title('Markers and object boundaries superimposed on original image')

Lrgb = label2rgb(L, 'jet',        'w',       'shuffle');
figure, imshow(Lrgb)
title('Lrgb')

figure, imshow(rgb),hold on;
himage = imshow(Lrgb);
set(himage, 'AlphaData', 0.3);
title('Lrgb superimposed transparently on original image')
```

8 Apéndice B. Publicación

3er CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Centro Universitario
Cerro de las Campanas
Santiago de Queretaro
Qro., México C.P. 76010
Tel. 01(442)192 12 00
Exts. Fax.

Luis Octavio Solís Sánchez,
Rodrigo Castañeda Miranda,
Juan José García Escalante,
Pedro Daniel Alaniz Lumbreras
Laboratorio de Biotrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n, Querétaro México, C. P. 76010

Nos complace informarle que su artículo titulado "Detección Automatizada de mosquita blanca en invernaderos" ha sido aceptado con base en la revisión realizada por el Comité Técnico del Tercer Congreso Internacional de Ingeniería, a celebrarse del 23 al 25 de abril del 2007, en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Contará con 15 minutos para su presentación, rogándole de la manera más atenta se ajuste al tiempo asignado considerando el gran número de ponencias que participan.

Esperamos contar con su valiosa presencia en el evento y aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Vianey Torres Argüelles
Coordinadora Académica
Comité Organizador

Detección Automatizada de mosquita blanca en invernaderos

Automated White-flies scouting under greenhouse environment

Luis Octavio Solís Sánchez[1] ,Rodrigo Castañeda Miranda[1] , Juan José García Escalante[1] y Pedro Daniel Alaniz Lumbreras[1]

[1]Laboratorio de Biotrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n, Querétaro México, C. P. 76010; correo electrónico: luisososa@gmail.com

RESUMEN. El potencial de la agricultura de precisión es el de reducir los costos, aumentar el rendimiento y hacer un uso más eficiente de los insumos. Uno de los principales problemas en los invernaderos son las plagas, para lo cual se presenta una posible solución para el control y prevención de plagas mediante técnicas de visión artificial. En este trabajo se describe la implementación de algoritmos que permiten conocer e identificar cual es la plaga que se encuentra presente en el cultivo así como de la severidad de la misma y permite al encargado del invernadero tomar medidas preventivas o correctivas según sea el caso. El estudio fue realizado en un invernadero de 1000 m^2 para cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum) en sistema hidropónico híbrido.

Palabras clave: Agricultura de Precisión, Visión Artificial, Invernaderos, IPM.

5. INTRODUCCIÓN

Explorar y controlar los insectos forman la piedra angular de la Administración Integrada de Pestes (IPM) en los invernaderos. El IPM es una estrategia de la administración del control de insectos que pretende optimizar la lucha contra las plagas de insectos en una manera económica y ambientalmente sana. Generalmente la IPM consiste en cuatro pasos: exploración, identificación de la peste, tiempo de aplicación del insecticida y registro de las técnicas aplicadas, con el fin de formar una base de datos para estudios subsecuentes.

Cuando se lleva a cabo perfectamente la administración de pestes esta se convierte en una herramienta poderosa, eficientemente económica y ambientalmente amistosa. El primer paso del IPM, explorar y monitorear insectos puede ser tedioso y conlleva tiempo; es una tarea que a menudo desatendida cuando otras operaciones en el invernadero son o parecen ser más urgentes (cosechando, la conservación de la cosecha, etc.).

El procedimiento más común de la exploración de insectos es la observación visual de plantas y/o de tiras de tarjetas pegajosas amarillas o azules que pueden atrapar a los insectos voladores. Las inspecciones se llevan generalmente a cabo una vez a la semana (adecuado) pero deberían hacerse dos veces a la semana (lo ideal). Los conteos diarios serían aún mejores pero actualmente no son utilizados en invernaderos a causa de limitaciones logísticas. Además, más observaciones o inspecciones por área, significan más certeza en el tiempo de la aplicación de insecticidas o controles biológicos. Generalmente, una tira amarilla o azul es utilizada por cada 100m^2 de un invernadero, para controlar y monitorear la severidad del problema de la peste.

Automatizar una tarea tan importante y tediosa como la exploración de insecto sería de gran beneficio para las operaciones de un invernadero, especialmente si los datos de la especie, la etapa del desarrollo del insecto, la ubicación, la severidad o los números de una peste de insecto, y las pautas temporales se podrían integrar en un sistema de base de datos. La tediosa naturaleza de explorar implica tiempo y esfuerzo para controlar y registrar los insectos. Por ejemplo, en un invernadero de una hectárea (100 tiras pegajosas) donde se hiciera la exploración cada día, tomaría al personal bien entrenado y bien equipado un mínimo de 2 horas/hombre. Esto sin analizar las pautas espaciales y temporales de las pestes de insecto. Dos horas en 365 días tendrían como resultado 730 horas/hombre. Incluso si explorar se hiciera dos veces a la semana esto asciende todavía a 200 horas/hombre.

Un sistema de exploración ideal tendría que llevar a cabo la tarea descrita y ser capaz de reunir información diaria respecto de la especie de insecto, la etapa del desarrollo basándose en el tamaño, la forma, y posiblemente el color. Asimismo discriminar las partículas de polvo u otros objetos que se puedan adherir a la trampa (tira amarilla o azul pegajosa), de tal forma que sea posible integrar estos datos en un sistema de decisión y control.

Chwan-Lu et al., (2006), en Taiwán, realizaron estudios respecto de la viabilidad del uso de sistemas GSM-SMS (Global system of mobile communication GSM; Short message service SMS); para la adquisición de datos, proponiendo un sistema prototipo que transfiere los datos desde una estación de monitoreo que se encuentra en campo hacia una plataforma donde se encuentra el control del sistema. La comunicación entre estos equipos se lleva a cabo por medio de la tecnología GSM-SMS. Para el control del sistema encargado de monitorear en campo, se desarrolló un formato de mensaje corto, el cual es conveniente para controlar el área agrícola y reunir los datos de campo, tales como temperatura, humedad, velocidad de viento, e índice de pestes capturado.

Harman y Drake en el 2003 implementaron un radar automatizado (figura 1) para controlar a largo plazo las observaciones de la actividad migratoria de varias especies de insectos a cielo abierto. Un insecto que pasa por encima de uno de estos radares produce una señal con una variación de tiempo dependiente de su posición respecto al radar, la cual es registrada y analizada para recuperar los parámetros que indican la trayectoria del objetivo (velocidad, dirección), su orientación, y su carácter (el tamaño, la forma).

Así mismo, Drake (2002) desarrolló un sistema automático para analizar los datos meteorológicos en conjunto con la información proporcionada por el radar. De tal manera que fuera posible elaborar automáticamente resúmenes estadísticos diarios y representaciones gráficas de la actividad observada por el radar durante la noche previa. Estos resúmenes son descargados a la computadora del central, haciéndoles disponibles mediante accesos remotos (Internet) a los usuarios por la mañana del día siguiente. La red es utilizada en estudios de la ecología espacial de poblaciones de insectos y de la utilidad de la migración- controlando información para pronosticar operacional de peste.

En el presente trabajo la morfología matemática es usada para el tratamiento digital de imágenes correspondientes a trampas de captura de mosquita blanca **(**Homóptera: Aleyrodidae). Mediante la segmentación de los insectos capturados por las trampas fue posible realizar el conteo y clasificación de los insectos mediante el análisis de sus características geométricas tales como el área de proyección, la excentricidad y la solidez del insecto segmentado. A partir de lo cual permite la identificación, clasificación y conteo de insectos mediante de técnicas de visión artificial

2.- MATERIALES Y METODOS

La importancia de la aplicación de técnicas de procesamiento de imágenes en un sistema de producción automatizado es poder monitorear constantemente de manera visual los cambios que ocurren en las trampas para los insectos. La adquisición de imágenes se realizo mediante una cámara digital Panasonic Lumix sobre las tiras de pegamento (figura 1) de control de plagas tratando de obtener las mejores imágenes posibles para poderlas manipular (Pre-procesamiento).

Figura 1 Trampa para insectos

Para la clasificación no es posible utilizar solo el área característica, por que en el histograma tienen una alta correspondencia, a menudo se deja pasar unas cuantas características de diferentes clases, estas se pueden separar con unos pocos parámetros.

Permitamos asumir que una característica puede ser separada en dos clases. Entonces 10 características pueden ser separadas en 2^10 = 1024 clases objetivas. El problema esencial consistió es la distribución constante de los grupos en el espacio de características.

2.1 Técnicas de clasificación

Una vez clasificadas las clase; se obtiene un vector de la característica del nuevo objeto que es asociado a una de las clases o como una clase desconocida.

2.1.1 Clasificación supervisada

- Determinar los grupos en el espacio con objetos conocidos de antemano con áreas que podamos identificar.
- Entonces podemos saber el número de clases y extensión en el número de características; este nos da como un resultado objetivo pero la separación es menos favorable.

2.1.2 Clasificación Look-up

- Se toma el espacio de la característica como es y se marca en cada célula a la clase que pertenece se tendrá una cantidad se células que no pertenecen a ninguna clase estas van a ser marcadas con ceros.
- Primero podremos tomar una clase que muestra la probabilidad más alta en esta célula
- Segundo, se puede hacer que clasificación error libertad no es posible con este vector de la característica y marcar la célula con cero.
- Un vector M de la característica es tomado y es comparado con la tabla de característica multidimencional y ver a que clase pertenece

Se tiene una desventaja al igual que muchas otras técnicas; referente a las cantidades enormes de memoria requerida para las tablas de consulta.

Para poder desarrollar la clasificación se obtuvieron muestra de trampas de diferentes invernaderos para de esta manera tener un rango más amplio de imágenes con las cuales trabajar. Hecho esto se procesaron las imágenes en MATLAB donde se realizaron operaciones morfológicas aplicadas a visión artificial con el propósito de obtener un algoritmo sea capaz de monitorear, identificar y clasificar dentro de un sistema de producción intensiva.

Contando con varias muestras de imágenes de las trampas que fueron tomadas por nuestra cámara digital Panasonic, se aplico el algoritmo de sobel para que de esta manera tuviéramos la imagen con un contorno de un solo píxel; y esto facilitara la aplicación de otras operaciones morfológicas sin tener errores o datos no deseados como por ejemplo en caso de una suma o resta de minkowski (dilatación y erosión respectivamente) en caso de tener un contorno de dos píxeles.

Tomando en cuenta lo anterior se obtuvo el gradiente de magnitud de la imagen; así como el threshold (umbralización) mediante el método de Otsu (1979), se invirtió la imagen para poder tener mejores resultados en las próximas operaciones morfológicas, después de invertir la imagen se obtuvo la mediana de la imagen para poder eliminar los puntos aislados que se encontraban presentes, se elimino todo lo que ese encontraba en el borde de la imagen ya que estos datos no muestran información relevante; se procedimos a rellenar los hoyos que se generaron por las operaciones morfológicas aplicadas ya que de no ser llenados se podría tener problemas en los resultados; una vez segmentadas las diferentes regiones se etiqueto cada una de ellas.

Una vez etiquetadas cada una de las regiones por el algoritmo de Haralick (1992), se obtuvo la identificación los posibles insectos en las trampas; pero aun se tiene que asegurar que fuera lo que se estaba buscando.

Para poder clasificar primero tenemos que obtener de nuestra imagen etiquetada el área, el centro de masa, la excentricidad y la solides de cada una de las regiones obtenidas; en otras palabras las propiedades de cada región.

Hecho lo anterior de la imagen se filtro por área y solides y de esta manera procesamos cada una de las muestras para detectar las posibles plagas, así como la obtención de las graficas el área y la excentricidad al igual que el área con la solides para que nos permitiera visualizar las propiedades de cada una de los insectos y poder clasificarlos.

Se procedió a llevar a cabo una depuración minuciosa del algoritmo desarrollado para así verificar que el procesamiento requerido se haya efectuado con la mayor rapidez posible y logreando una buena eficacia y de esta manera pudo lograr una portabilidad en el algoritmo para que se adapte a cualquier lenguaje de programación.

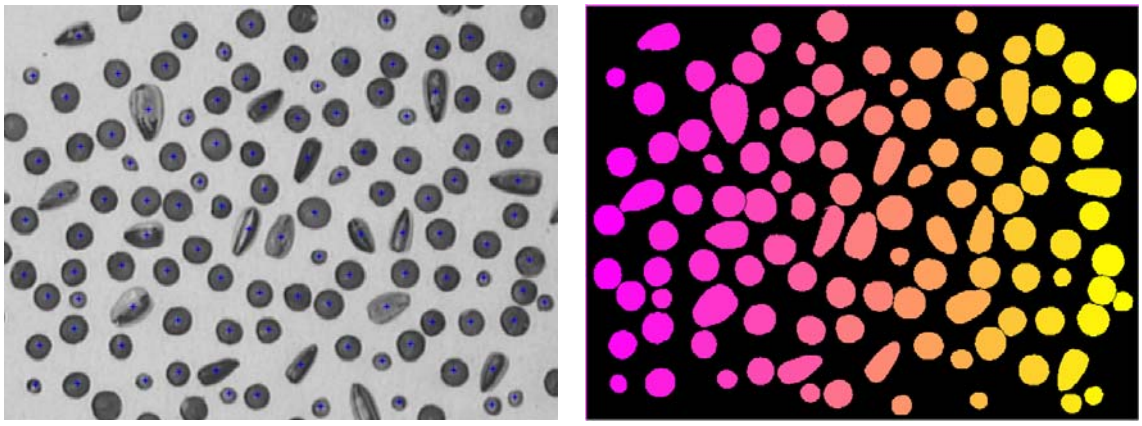
Al procesar las imágenes se compararon las obtenidas en un día contra las de días subsecuentes para poder ver su varianza, evolución y algunos datos históricos, para de esta manera definir los cambios que se presentaron y de esta manera hacer una comparativa con los datos que se poseen de temperatura y humedad existentes en el invernadero a lo largo del día.

Toda la información, que se recolecto en el transcurso del día es almacenada como datos en la memoria RAM del sistema, para poder ser consultados, comparados o evaluados por personal experto en la rama de plagas o enviados según sea requerido.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La validación de los algoritmos desarrollados para identificar las características geométricas de los objetos fue realizada mediante el uso de un set imágenes en donde se tienen tres tipos de semillas diferentes: semillas de girasol, semillas de lenteja y semillas de pimienta. Estos tipos de semillas, son diferentes tanto en área como en forma de las cuales se segmentó la imagen y se obtuvieron las diferentes propiedades de cada elemento encontrado, se etiquetaron y marcaron los centros de gravedad de cada uno de ellos (*figura 1.a*)

Una vez que se identifico cada elemento de la imagen segmentada (*figura 1.b*); entonces se cuenta con las propiedades de los elementos tales como el área, excentricidad, solidez, centro de gravedad (centróide) y orientación.

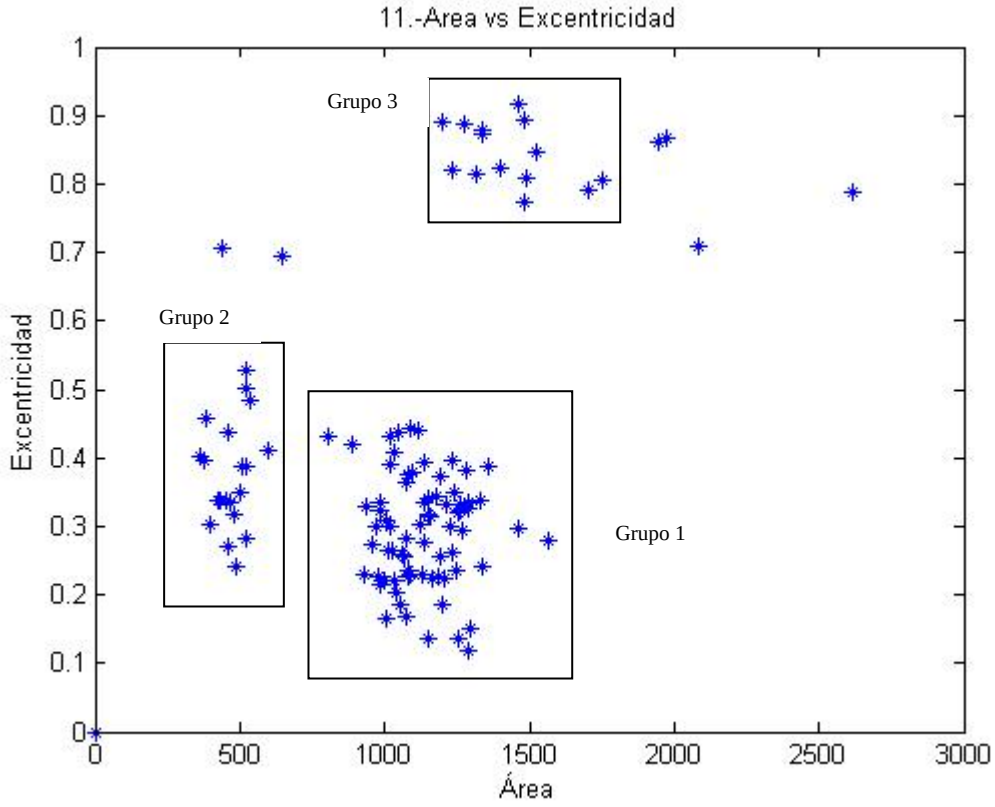


(a) (b)

Figura 1. (a)Imagen de diferentes tipos de semillas utilizada en el análisis de de nuestro algoritmo (b) Imagen segmentada para conteo y clasificación

Con los datos obtenidos en las imágenes anteriores se pueden graficar para de esta manera tener una clasificación de los elementos. Donde graficamos el área contra la excentricidad, de las cuales la excentricidad nos indica que tan redondo es el objeto, mientras mas se acerque al cero mas redondo es, si es cero esto nos indica que la forma del elemento en cuestión tiene una forma de circulo y si es uno entonces seria una línea. En nuestro caso contamos con tres tipos diferentes de semillas, con diferentes tipos de redondez y área. Entonces se puede definir en que grupo se encuentra cada uno de los elementos (Figura 1).

Se identificaron los tres grupos diferentes de semillas presentes en la imagen los cuales se identifican con facilidad (Figura 2), donde algunos elementos no se pudieron identificar en especial el de algunas semillas de girasol esto por su gran parecido con de lenteja con respecto al área y excentricidad, las cuales quedaron fuera de nuestra clasificación, estas se pueden observar que no se encuentra en ningún grupo sencillamente quedaron fuera.



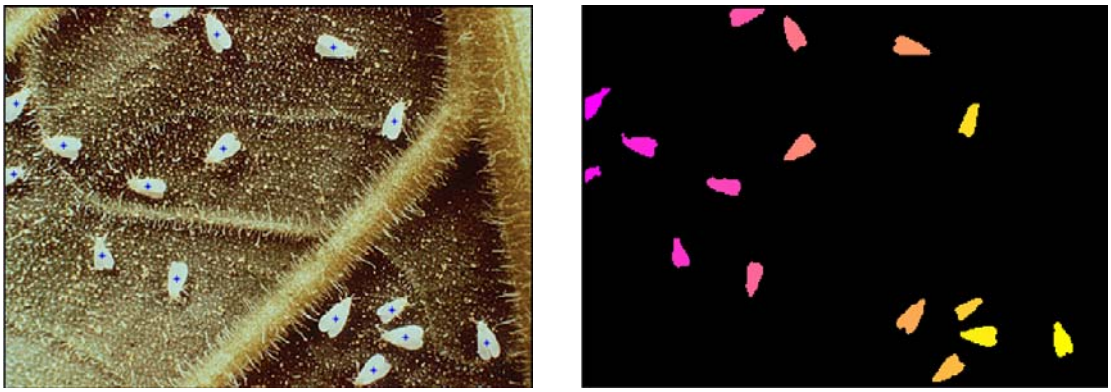
(a)

Figura 2.Resultados obtenidos referentes al área-Excentricidad, área-Solides en los cuales se pueden apreciar los diferentes grupos de semillas encontrados; Grupo 1Son semillas de lenteja con una redondez casi parecida a un circulo; Grupo 2 Son semillas de pimienta con un área menor y con menor redondez que las semillas de lenteja; Grupo 3 Son las semillas de girasol con un área mayor y un grado mucho menor de redondez mas cercana a la elipse.

Una vez que ya se probó el algoritmo se procedió a trabajar directamente con las imágenes donde se encuentran las moscas blancas **(**Homóptera: Aleyrodidae) de las cuales se obtuvo como en el caso de las pruebas anteriores; se segmento y se encontró el área, excentricidad, solides, centro de gravedad (centroide) y orientación. Se tiene la imagen original (figura 2.a) donde marcamos los centros de masa de cada uno d los elementos cabe mencionar que los elementos que se encuentran en los bordes han sido despreciados ya que la información proporcionada, no era de utilidad.

Etiquetadas las moscas blancas (figura 2.b) y conociendo las propiedades mencionadas en el párrafo anterior; se puede tener un buen índice de forma ya que todos ellos tendrán una excentricidad muy similar, con lo que respecta al área esta puede variar, pero todos presentan un forma muy parecida,

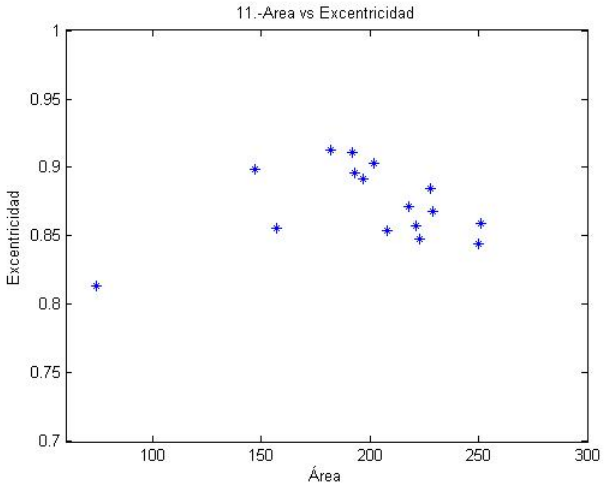
siendo esta una forma triangular; en este caso se logra aislar únicamente los elementos involucrados en el estudio



(a) (b)

Figura 3 (a) Imagen de diferentes tipos de la mosca blanca utilizada en el análisis de de nuestro algoritmo; (b) Imagen segmentada para conteo y clasificación

En el caso de las moscas blancas fue básico aplicarle un filtro de área ya que si no lo hacíamos muchas partículas sin importancia se presentaban, dificultando nuestro procesamiento de las imágenes, pero el filtro que hizo diferencia fue el que se aplico con respecto a la solides de cada partículas ya que en base al filtro de área, se encontraban muchas partículas de la misma área pero con diferente forma, ya después de tener la solides se logro discriminar lo que no era mosca blanca, teniendo en cuenta los resultados de la grafica de las semillas podemos considerar que la excentricidad (figura 4) se va ha encontrar muy cercana del 0.9 ya que la forma es un triangulo.



(a)

Figura 4 Tenemos las moscas blancas con excentricidad similar y área diferente.

De la grafica anterior se puede identificar cuantas moscas blancas hay así como su excentricidad y área; como habíamos mencionado la excentricidad se encuentra alrededor de la franja de 0.8 y 0.9, en este caso el resultado de franja se encuentra cercana al índice de umbralización, en cuanto al área nos puede decir en que etapa del desarrollo se encuentra la plaga tomando que la forma es similar solo cambiaria el tamaño.

Los resultados obtenidos en la grafica 1 en comparación con los de la figura 4, se observa que la excentricidad de las semillas de girasol es similar a la excentricidad de la mosca blanca esta debido a que tienen similitud en su índice de forma (triangular). Debido a esto se tomo como imagen de calibración la de las semillas para poder dar valides en caso de presentarse cualquier otro tipo de plaga.

4.-CONCLUSIONES

La metodología presentada demostró ser eficiente en la identificación y clasificación de diferentes objetos dentro de una imagen dependiendo de sus características morfológicas. Al aplicar los algoritmos desarrollados y validados a imágenes reales de insectos (mosquita blanca), éstos demostraron la posibilidad de la aplicación de las técnicas de procesamiento de imágenes dentro del campo de la agricultura de precisión. Estableciendo una pauta para la clasificación de las proyecciones de insectos dentro de una imagen digital.

Los resultados mostrados en este artículo presentan el análisis de las características geométricas de los insectos, que influyen principalmente en la producción bajo invernadero, que permiten establecer una clasificación respecto su especie y etapa biológica. En el caso de la mosquita blanca, visiblemente es detectable que poseen forma triangular, por lo tanto el índice determinante para su identificación fue la excentricidad de su proyección, estableciéndose un rango de umbral entre 0.8 y 0.92; lo cual hace posible su identificación aún en condiciones de iluminación deficientes. Es necesario un estudio más detallado que incluiría la asesoría por parte de personal capacitado en el área de la entomología para establecer una relación determinante entre el área de la proyección y la etapa biológica. Sin embargo, ésta primera aproximación demostró que las técnicas de visión artificial son una herramienta prioritaria dentro del proceso de automatización en los sistemas de agricultura de precisión.

En un sistema de producción automatizado es imprescindible monitorear constantemente de manera visual los cambios que ocurren en las trampas para los insectos. Se espera una drástica reducción del tiempo invertido en el monitoreo y seguimiento del impacto de las pestes al interior de un invernadero mediante el uso de la metodología propuesta en el presente artículo. Por otra parte, dado la naturaleza digital de los datos obtenidos, es factible de almacenar dichos datos para la creación de historiales y dinámicas del impacto de las pestes sobre los cultivos.

En trabajos subsecuentes se propone aplicar la presente metodología para la identificación de diferentes patrones geométricos de otras pestes que afectan a los cultivos bajo invernadero.

5.-REFERENCIAS

Chwan-Lu T., Joe-Air J., Ren-Guey L., Fu-Ming L., Cheng-Shiou O., Yih-Shaing C. and Chih-Hsiang C., 2006, Feasibility study on application of GSM–SMS technology to field data acquisition.

Harman I. y Drake V., 2003, Insect monitoring radar: analytical time-domain algorithm for retrieving trajectory and target parameters

Drake V., Wang H. y Harman I., 2002, Insect monitoring radar: remote and network operation
Dennill G. y Erasmus M., 2003, Basis for a practical technique for monitoring trips in avocado orchards

Otsu N., 1979, A threshold selection method from gray level histograms 9: 62-66.

Haralick R., y Linda S., 1992, Computer and Robot Vision, Volume I, Addison-Wesley pp. 28-48.

García J., Castañeda R., Peniche R., Hernández V., Herrera G., 2005. Greenhouse Climate Control Based on Crop Modelling and Digital Image Processing. Journal.