



METODOLOGÍA BASADA EN PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS PARA EL LEVANTAMIENTO DE PALMA DE ACEITE A PARTIR DE IMÁGENES WORLDVIEW-2

Kelly Carolina Torres Sinisterra



METODOLOGÍA BASADA EN PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS
PARA EL LEVANTAMIENTO DE PALMA DE ACEITE A PARTIR DE IMÁGENES
WORLDVIEW-2

KELLY CAROLINA TORRES SINISTERRA

UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
SANTIAGO DE CALI

2015

METODOLOGÍA BASADA EN PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS
PARA EL LEVANTAMIENTO DE PALMA DE ACEITE A PARTIR DE IMÁGENES
WORLDVIEW-2

KELLY CAROLINA TORRES SINISTERRA

Trabajo de Grado en modalidad de pasantía presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniera Topográfica

Director académico

Ing. Mónica Preciado Msc.

Director institucional

Ing. Angie Molina

UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
SANTIAGO DE CALI

2015

Nota de aceptación:

Director Académico

Director Institucional

Firma del jurado

Firma del jurado

Cali, Julio 28 de 2015

DEDICATORIA

Toda la gloria sea para Dios

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todas las bendiciones que ha derramado sobre mí y sobre toda mi familia, por permitirme estudiar y encontrar una guía en mi camino.

A mi familia por el amor cariño y apoyo incondicional en este largo proceso.

A los toposos por convertirse en unos hermanos de lucha, y por llenar mis días de alegría y sabiduría.

A la escuela de Ingeniería Civil y Geomática en especial a los docentes del programa académico de Ingeniería Topográfica.

A la profesora Mónica Preciado por su apoyo en todo momento.

Al Centro de Investigación en Palma de Aceite CENIPALMA, en especial al área de Geomatica por darme la oportunidad de desarrollar la pasantía bajo su directriz.

A la empresa Palmeras de la Costa por apoyarme en la terminación de mis estudios y permitirme trabajar.

A todas las personas que han en cada uno de los momentos de mi vida.

A todos muchas gracias

TABLA DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. JUSTIFICACIÓN.....	15
4. MARCO CONCEPTUAL	16
4.1 Palma de aceite	16
4.2 Teledetección.....	18
4.2.1 Satélite Worldview-2	20
4.3 Procesamiento digital de imágenes	20
4.3.1 Filtros de paso alto	21
4.3.2 Filtros de paso bajo	22
4.3.3 Segmentación.....	22
4.3.4 Morfología matemática	23
5. MARCO TEÓRICO	25
5.1 Teledetección.....	25
5.2 Procesamiento digital de imágenes	27
5.2.1 Realce y mejora de imágenes	27
5.2.2 Filtros	27
5.2.3 Segmentación.....	28
6. MARCO REFERENCIAL	29
7. MARCO METODOLÓGICO.....	38
7.1 Zona de estudio	38
7.2 Corrección radiométrica de imágenes Worldview-2	40
7.3 Determinación de sub_escena de la zona de estudio	43
7.4 Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado	43
7.5 Lectura de la Imagen en Matlab.....	44
7.6 Aplicación de Filtro Gaussiano y Sobel.....	44
1.1 44	
7.7 Segmentación por umbralización	44
7.8 Algoritmo Morfológico de Erosión	45

8. RESULTADOS	45
8.1 Corrección radiométrica de imágenes Worldview-2	45
8.2 Determinación de sub-escenas de la zona de estudio	46
8.3 Cálculo de Índice de Diferencia Normalizado.....	47
8.4 Lectura de las imágenes en Matlab	48
8.5 Filtro Gaussiano	48
8.6 Filtro pasa alto Sobel.....	49
8.7 Segmentación por Umbralización	50
8.8 Algoritmo Morfológico: Erosión	51
8.9 Eliminación de objetos pequeños.....	52
9. VALIDACIÓN	60
10. DISCUSIÓN	71
11. CONCLUSIONES.....	72
12. BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	79

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Especificaciones de las imágenes WorldView-2	20
Tabla 2: Cantidad de Palmas por lote de la zona de estudio	39
Tabla 3: Parámetros de Worldview-2 para cálculo de radiancias relativas a absolutas.	43
Tabla 4: Valores de umbral óptimos obtenidos por el método de Otsu.....	50
Tabla 5: Estadística Descriptiva inicial de las áreas para siembra 2009.....	54
Tabla 6: Estadística Descriptiva de las áreas para siembra 2008.....	56
Tabla 7: Estadística Descriptiva preliminar de las áreas para siembra 2007	57
Tabla 8: Estadística Descriptiva preliminar de las áreas para siembra 2006.....	58
Tabla 9: Estadística Descriptiva de las áreas para siembra 1999.....	59
Tabla 10: Cantidad de palmas detectadas por algoritmo siembra 2009.	60
Tabla 11: Cantidad de palmas detectadas por algoritmo 2008	63
Tabla 12: Cantidad de palmas detectadas por algoritmo 2007	65
Tabla 13: Cantidad de palmas detectadas por algoritmo 2006	67

Tabla 14: Cantidad de palmas detectadas por algoritmo 1999	69
--	----

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1: Esquema de marcación de sitios de palma.	17
Figura 2: Distribución del espectro electromagnético.	19
Figura 3: Máscaras de convolución del método Sobel y sección de la imagen de entrada.....	22
Figura 4:a) Imagen original, b) Imagen segmentada, c) Imagen erosionada con elemento estructurante tipo disco de radio 2	24
Figura 5: a) Imagen original, b) Imagen segmentada, c) Imagen dilatada con elemento estructurante tipo disco de radio 5	24
Figura 6: Resultados delineación individual	31
Figura 7: Delineación de coronas en composición en falso color (NIR1-rojo-azul) de imagen WorldView-2.....	32
Figura 8: Resultados del procesamiento: (a) pre-procesamiento, (b) análisis de textura, (c) realce de bordes, (d) segmentación, (e) erosión, (f) dilatación, (g) traslape de centroides y puntos, (h) puntos del centroide traslapado con delineación.....	33
Figura 9: Subconjuntos utilizados en la evaluación del desempeño, a) datos de prueba imágenes QuickBird y b) Semi-variograma posición de picos locales	35
Figura 10: Palmas de aceites detectadas con la metodología propuesta marcado con círculo rojo.....	36
Figura 11: Mapas de segmentación refinados a) media y b) grandes niveles de coronas de árbol.	37
Figura 12: Esquema metodológico	38
Figura 13: Zona de estudio, a) Localización general, b) Imagen Worldview-2 Palmeras de la Costa.....	39
Figura 14: Perfil espectral	46
Figura 15: a) Imagen general zona de estudio. b) Sub-escena zona de estudio; 1) Siembra 1999, 2) Siembra 2006, 3) Siembra 2007, 4) Siembra 2009, 5) Siembra 2008.....	46
.....	47
Figura 16: Índice de vegetación de diferencia normalizado; a) Siembra 1999, b) Siembra 2007, c) Siembra 2008, d) Siembra 2009.....	48

Figura 17 Ejemplo lectura fragmento de imagen 2009 en MatLab.....	48
Figura 18: Resultados aplicación del filtro Gaussiano: a) imagen original, b) imagen después del filtro gaussiano.....	49
Figura 19: Resultados aplicación del filtro Sobel: a) filtro imagen 2009, b) filtro imagen 1999, c) unión entre palmas de la imagen 2009 y d) ubicación de palmas erradicadas.	50
Figura 20: Resultados aplicación del método umbral a) Siembra 2009 b) Siembra 2008 c) siembra 1999 d) siembra 2007	51
Figura 21: Resultados aplicación algoritmo erosión a) siembra 2008, b) siembra 2007, c) siembra 2009 y d) siembra 1999.....	52
Figura 22: Resultados eliminación de objetos pequeños a) siembra 2008, b) siembra 2007, c) siembra 1999.....	53
Figura 23: Resultados obtención de centroides a) centroides obtenidos en Matlab, b) alteración de los datos en Arcgis	54
Figura 24: Histograma de las áreas para la siembra 2009	55
Figura 25: Rango de datos de 0-1.075 m ² (objetos color cian) siembra 2009	55
Figura 26: Histograma de las áreas para el año de siembra 2008.....	56
Figura 27: Rango de datos de 0-0.89 m ² (objetos color cian) siembra 2008	57
Figura 28: Histograma de los datos seleccionados para la siembra 2007	58
Figura 29: Histograma de los datos seleccionados para la siembra 2006	59
Figura 30: Histograma de los datos seleccionados para la siembra 1999	60
Figura 31: Resultados aplicación de algoritmo siembra 2009.....	61
Figura 32: Ubicación de las palmas detectadas por el algoritmo para la siembra 2009.....	62
Figura 33: Imagen Original siembra 2009.....	63
Figura 34: Resultados aplicación de algoritmo siembra 2008.....	64
Figura 35: Código en el lote 2008-3; a) Ubicación de las palmas detectadas por el algoritmo, b) Franjas del lote con condiciones diferentes	65
Figura 36: Resultados aplicación de algoritmo siembra 2007.....	66
Figura 37: Código en el lote 2007-2; a) Ubicación de las palmas detectadas por el algoritmo, b) Franjas del lote con condiciones diferentes	67
Figura 38: Resultados aplicación de algoritmo siembra 2006.....	68
Figura 39: Código en el lote 2006-2; a) Ubicación de las palmas detectadas por el algoritmo, b) Sobre-segmentación de los objetos.....	69
Figura 40: Resultados aplicación de algoritmo siembra 1999.....	70
Figura 41: Código siembra 1999; a) Ubicación de las palmas detectadas por el algoritmo, b) Sobre-segmentación de la imagen.....	71

RESUMEN

En el cultivo de palma de aceite los inventarios de palma juegan un papel muy importante debido a que son la base para desarrollar y programar labores propias como aplicación de fertilizantes, revisión de enfermedades y plagas, riego, mantenimiento y limpieza, entre otros. Conocer el inventario de palma de una plantación se convierte día a día en una tarea difícil debido a que este proceso es muy manual, realizado básicamente en papel contando las palmas por líneas o mediante el levantamiento con Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) palma a palma.

El desarrollo del proyecto permite complementar las técnicas actuales de inventario de los cultivos de palma, implementando una metodología apoyada en el uso de imágenes de satélite de muy alta resolución espacial (VHR), el índice de vegetación de diferencia Normalizada NDVI (por sus siglas en inglés), además de aplicar métodos de realce y mejora como los son filtro Gaussiano y Sobel acompañado de segmentación por umbral, seguido de algoritmos morfológicos como la erosión. Se trabajó con imágenes del satélite Worldview-2 tomadas el 28 de Diciembre de 2011 las cuales cubren un área aproximada de 900 hectáreas, se establecieron varios sub-escenas que corresponden a los años de siembra 2009, 2008, 2007, 2006 y 1999. Los resultados muestran que el algoritmo permite identificar un rango entre 40% y 89% en las siembras que van de 2007-2009, comparados con los datos de campo. Se concluye que para la siembra 2007-2009 donde se distingue la vegetación del suelo el uso del NDVI como máscara representa una aproximación al inventario de palmas lo cual mejora significativamente los resultados arrojados en la segmentación. En los años de siembra 2006 y 1999 donde no es posible distinguir el suelo de la vegetación las imágenes tienden a presentar una sobre-segmentación por tal motivo los resultados no son favorables. Se concluye que se deben dividir o agrupar las diferentes edades de siembra del cultivo debido a que cada etapa tiene una forma, tamaño y color diferente, se recomienda no aplicar la metodología en cultivos que han estado en proceso de underplanting o renovación y que aun disponga restos de la palma vieja, debido a que esto altera totalmente los resultados obtenidos y se genera una sobre-segmentación de la imagen.

Palabras claves: Palma de Aceite, Segmentación, Imágenes de satélite, Worldview-2, georeferenciación.

INTRODUCCIÓN

La palma de aceite tiene sus orígenes en las costas del Golfo de Guinea, en el Continente Africano, llegó a Colombia a inicios del 1932 y en 1945 se creó el primer cultivo con fines industriales.

La palma africana es una planta oleaginosa que se ha extendido en el mundo debido a su alto nivel productivo. Cuando es cultivado para fines comerciales tiene una vida útil aproximada de 24 a 28 años, periodo durante el cual puede alcanzar una productividad de 4.2 toneladas, es decir unas 600 toneladas de fruta por hectáreas, en condiciones climáticas ideales. Fedepalma & Bernal (2001).

Debido a la condición perenne de la palma de aceite, entre las muchas actividades agronómicas que se realizan en las plantaciones, está el seguimiento periódico de las condiciones fitosanitarias y nutricionales del cultivo. Para ello, desde hace algunos años se ha incursionado en la implementación y el uso de herramientas geomáticas que permiten localizar espacialmente la información agronómica recolectada directamente en campo, con la finalidad de hacer un mejor uso y aprovechamiento de los recursos. Como una de las primeras actividades que se deben realizar para el cumplimiento de dichos fines, está la consolidación del inventario geográfico de los bienes inmuebles de las plantaciones, el cual en una primera fase requiere de la georreferenciación de los objetos geográficos tales como la plantación, las vías internas, los drenajes, los lotes, las líneas palmas y las palmas, siendo el levantamiento de está últimas una de las labores más dispendiosas y desgastantes. Actualmente, existen distintas herramientas tecnológicas para la recolección de información geográfica asociada al cultivo de palma de aceite entre las cuales se destacan los sistemas de posicionamiento global (GPS), las imágenes aéreas y las imágenes de satélite de alta resolución (VHR), estas últimas siendo una alternativa de alto potencial en áreas de grandes extensiones. La identificación y clasificación de los elementos contenidos en una imagen de satélite, puede realizarse a través de varios métodos de clasificación, los cuales permiten agrupar diferentes coberturas a partir de características propias de los objetos (nivel digital, porcentaje de reflectancia, forma, textura, etc.); sin embargo dichos métodos presentan ciertas limitaciones debido a que aquellos que se basan en los valores radiométricos o de reflectancia toman como parámetro de clasificación el valor asociado a cada píxel¹, lo cual puede presentar variaciones significativas entre grupos dadas las distorsiones causadas por factores atmosféricos o de los sensores de medida. Por otra parte la clasificación

¹ La unidad más pequeña que compone una imagen digital.

orientada a objetos es una técnica que utiliza la segmentación de la imagen para darle un tratamiento a nivel de objeto lo cual amplía la cantidad de información que es posible extraer, sin embargo para el caso de identificación de objetos tales como las palmas de aceite, en donde la cobertura tiende a ser muy homogénea pero a la vez variable dada las distintas etapas de desarrollo de las plantas el procedimiento no resulta ser tan sencillo. Por lo anterior, y en aras de evaluar una metodología eficiente y eficaz para la identificación y georreferenciación de palmas de aceite, en el presente documento se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación del método de clasificación orientada a objetos de imágenes satelitales, en la identificación y georreferenciación masiva de palmas de aceite.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los inventarios de palmas y de otros cultivos juegan un papel muy importante al momento de tomar decisiones, permitiendo realizar seguimiento de producción, seguimiento del estado fitosanitario del cultivo, planeación de labores, estimación de costos e insumos así como replantar el manejo agronómico de las plantaciones.

Existen diferentes metodologías que se han desarrollado a nivel mundial para cuantificar una gran variedad de cultivos; Anane et al., (2001), desarrollaron una metodología para cuantificar las zonas de arroz en Zaragoza España mediante el uso de teledetección; y los métodos de clasificación supervisada y no supervisada. Al igual que Mora et al., (2010) en Canadá realizaron un inventario de zonas boscosa mediante la interpretación de imágenes QuickBird, desarrollado por un grupo de intérpretes certificados. Por su parte Chakraborty & Panigrahy, (2000), realizaron un inventario en cultivo de arroz en China mediante el uso de radar y el uso de algoritmos como: la transformada de Fourier y reglas de decisión estadísticas. Casterad et al., (2005) plantearon una metodología para el inventario y seguimiento del cultivo de viña en España con la utilización de índices de vegetación e índice de área foliar y clasificación realizada con imágenes Quickbird. Volante et al., (2007) realizaron un estudio multitemporal con imágenes de satélite Landsat 5 y 7, comparando los sistemas de clasificación por parcela y por píxel para la detección de cultivos de invierno (trigo y cártamo) y actualizar las bases cartográficas existentes en Salta Argentina. Lozano et al., (2002) desarrollaron una metodología para el inventario de cultivos de olivar a partir de imágenes Ikonos en el cual utilizaron una binarización de la imagen, aplicación de algoritmos erosión y dilatación, seguido de la agrupación de los objetos que fueron detectados como olivos y la definición de una malla regular de acuerdo a la distancia de siembra. En cuanto a los inventarios desarrollados en cultivos de palma de aceite se

encuentran: Korom et al., (2012) plantean una metodología desarrollada con el uso de imágenes Worldview-2, índices de vegetación para enmascarar los objetos que no corresponden a palmas, seguido del método de segmentación por Watershed y finalmente la evaluación de la segmentación. Shafri et al., (2011) plantean una metodología con el uso de imágenes hiperespectrales en la cual se realiza un análisis espectral para seleccionar los píxeles puros de la palma, seguido de la aplicación de filtros paso alto Sobel y la segmentación por el método del umbral.

La palma de aceite es considerada uno de los cultivos más promisorios, a nivel mundial Indonesia es el primer productor de aceite de palma con 24.100 miles de Toneladas, seguido de Malasia con 18.912 miles de Toneladas, Tailandia con 1.530 miles de Toneladas y Colombia con 941 miles de Toneladas, es el primer productor del continente Americano según cifras Oil World Annual 2012. (Fedepalma, 2012).

A nivel nacional este cultivo ha tenido un importante desarrollo. La Federación nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) la ha dividido en cuatro zonas productoras zona oriental con 163.447 Hectáreas, zona norte con 124.340 Hectáreas, zona central con 121.221 Hectáreas y la zona suroccidental con 18.359 Hectáreas. Fedepalma (2012).

El Centro de Investigación en Palma de Aceite (CENIPALMA), en su área de Geomática ha venido desarrollando proyectos enfocados a la investigación, desarrollo e implementación de herramientas geomáticas para el levantamiento del catastro palmero, con el fin de mejorar las labores agronómicas de una plantación. El uso del catastro palmero permite asignar un código único a los elementos de la plantación, pero antes estos deben estar debidamente georreferenciados.

La georreferenciación se viene desarrollando de forma manual: palma a palma, mediante la utilización de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), afrontando las difíciles condiciones climáticas en la que se desarrolla el cultivo, los desplazamientos dentro de la plantación, el despliegue de personal y las extensas horas de trabajo, todas estas situaciones adversas evidencian una deficiencia en el levantamiento del catastro palmero, debido a que la metodología utilizada resulta insuficiente cuando se emplea en grandes áreas de cultivo.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Generar una metodología de clasificación orientada a objetos para imágenes del sensor WorldView-2, que permita realizar el levantamiento de palma de aceite.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar y desarrollar algoritmos que permitan la clasificación y extracción de las palmas.

Validar el porcentaje de efectividad del método por clasificación orientado a objetos sobre imágenes de alta resolución espacial del sensor WorldView-2 contra el inventario realizado en campo.

3. JUSTIFICACIÓN

Las imágenes de satélite permiten obtener información de la superficie de la tierra sin tener un contacto directo con ella. Dentro de las principales aplicaciones en la agricultura se encuentran cartografía de la cobertura vegetal del suelo y uso del mismo, determinación de superficies sembradas, e inventario de cultivos por especies, estimación de rendimientos, evaluación de procesos erosivos hídricos y eólicos, evaluación de las condiciones de estrés hídricos de los cultivos, nivel de infección por enfermedades como de insectos, delimitación de áreas afectadas, evaluación de daños, obtención de información general para la determinación de acciones, inundaciones, sequías, tornados, granizadas, seguimiento del estado vegetativo de los cultivos, entre otros.

Diferentes autores han planteado las ventajas de utilizar sensores remotos en los inventarios de cultivos entre ellos se encuentra; Anane et al., (2001) comparando métodos de clasificación supervisada y no supervisada para identificar cultivos de arroz encontró que el método supervisado arroja mejores resultados pasando de 6395 ha en 1991 a 10630 ha en 1996. Por su parte Casterad et al., (2005) resalta que por medio de la teledetección han obtenido una visión general del vigor vegetativo del cultivo diferenciándolas según estado de desarrollo elevado, moderado o bajo, localizando zonas de manejo diferente. Volante et al., (2007) plantea que el método por-parcela establecido en el estudio permite conocer con mejor precisión las fuentes de error al medir la calidad de la cartografía generada.

La utilización de las imágenes de satélite de alta resolución (VHR), se presenta como una alternativa para el levantamiento de palma de aceite con el fin de agilizar los procesos de georreferenciación en grandes áreas de cultivos, sin dejar atrás la verificación con datos de campo.

Estas imágenes presentan una resolución espacial de 50 cm con lo cual es posible distinguir desde palmas adultas (28 años de sembrada) hasta palmas con dos años de sembradas, siendo muy importante debido a que un alto porcentaje de la plantación se encuentra en este rango de edad.

Esta metodología será de gran utilidad para el Centro de Investigación en Palma de Aceite (CENIPALMA), porque les permitirá realizar el inventario de grandes áreas de palma, como insumo principal para la implementación del Sistema de Información Geográfico para el manejo agronómico (GEOPALMA) de plantaciones.

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1 Palma de aceite

La palma de aceite (*Elaeis guineensis*) es una planta del trópico y es la más productiva de las oleoginosas, su vida productiva se estima en unos 25 años debido a que a esa edad alcanza una altura superior a los 13 metros, dificultando las labores de cosecha.

En el momento de establecer nuevas plantaciones se debe tener en cuenta una selección adecuada del material genético, la preparación de tierras para la siembra como lo es el trazado, el estaquillado y el ahoyado, Figura 1: Esquema de marcación de sitios de palma. (Franco Bautista, 2010).



Figura 1: Esquema de marcación de sitios de palma.

Fuente: (Franco Bautista, 2010)

Este cultivo requiere unas condiciones climáticas y de suelos específicos, bajo las cuales se optimizan los rendimientos y disminuyen problemas de plagas y enfermedades; conocer los requerimientos antes del establecimiento del cultivo posibilita la toma de decisiones. (Fedepalma, 2014). Estas plagas atacan específicamente raíces, estípites, flores, racimos y hojas, por tanto se deben establecer sistemas de muestreos efectivos y eficientes para lograr una detección oportuna y darles un manejo adecuado.

Los crecientes avances en tecnologías digitales como el GPS (Sistemas de Posicionamiento Global), los SIG (Sistema de Información Geográfica), los dispositivos digitales para la recopilación de datos, los computadores y base de datos, las imágenes y sistemas de teleobservación le han presentado a la industria de palma de aceite nuevas oportunidades para el manejo de mapas precisos de cualquier variable requerida (H.C. Ng, 2013).

El catastro de un cultivo de palma representa un inventario georeferenciado de todos los componentes de los lotes de palma como son lote, línea, palma los cuales son parte fundamental en la administración de una plantación. (Rincón Romero, 2012).

El sistema de teleobservación ha sido posible debido a una mejor calidad y disponibilidad de los datos en los últimos diez años. Las imágenes captadas por teleobservación pueden ser obtenidas principalmente de dos fuentes desde el espacio y aéreas variando su resolución y área de cobertura (H.C. Ng, 2013).

4.2 Teledetección

La teledetección es la técnica que permite obtener información de objetos situados en la superficie de la tierra sin tener contacto directo con ellos. (Chuvieco, 1995).

Esta técnica está compuesta principalmente por una fuente de energía la cual puede ser natural o artificial siempre y cuando emita energía electromagnética; un objeto el cual puede ser determinado de la vegetación, del suelo o del agua; una trayectoria; un sensor el cual recoge y registra la radiación electromagnética de la superficie; y por último la radiación electromagnética que es la energía que radia la superficie en diferentes longitudes de onda.

La radiación electromagnética es la combinación de los campos eléctricos y los magnéticos los cuales son propagados a través del espacio. También es considerada como la energía conformada por campos electromagnéticos que se propagan a través de longitudes de ondas, esta energía es posible detectarla mediante la interacción con la superficie.

El espectro electromagnético está conformado por rayos gama, rayos x, región ultravioleta, la luz visible, infrarrojo, región del microondas y el radio (Figura 2: Distribución del espectro electromagnético.) El ser humano siempre ha utilizado la luz visible emitida o reflejada por los objetos para recibir información de lo que nos rodea ya que somos sensibles a esa pequeña región del espectro. El espectro visible o luz visible está compuesta por tres secciones o bandas las cuales están distribuidas de acuerdo a los colores primarios de la siguiente manera Azul: 0.4-0.5 μm , verde: 0.5-0.6 μm y rojo: 0.6-0.7 μm (Chuvieco , 2008). La ciencia ha avanzado tanto que hoy es posible por medio de la teledetección tener información desde el visible hasta la región del microondas (Sobrino, 2001).

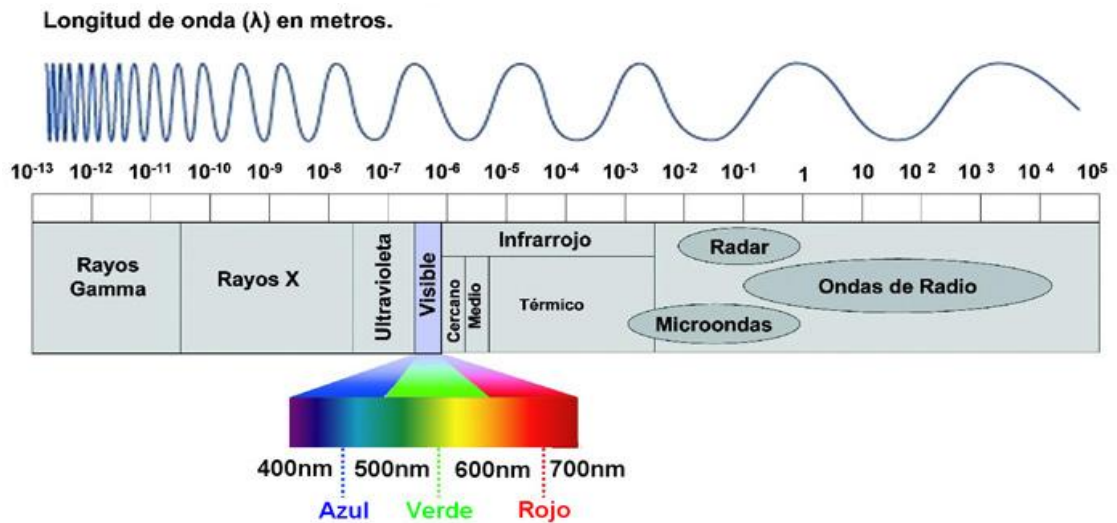


Figura 2: Distribución del espectro electromagnético.

Fuente: (Navarro, 2010)

La resolución de un sensor es la capacidad para registrar, discriminar información detallada. Existen varios tipos de resoluciones:

Resolución espacial: está determinada por el objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre la superficie terrestre. El tamaño del área de terreno que se registra en un pixel corresponde al valor de la resolución espacial de la imagen a la cual pertenece el píxel. Entre más pequeño sea el objeto distinguido mejor es la resolución espacial (Canada Centre for Remote Sensing;, 2006).

Resolución radiométrica: es la capacidad del sensor para detectar variaciones en el nivel de energía reflectada, emitida o retro-dispersada. Se indica por los niveles de gris de la imagen (Canada Centre for Remote Sensing;, 2006).

Resolución espectral: se refiere al ancho y cantidad de bandas en las cuales está dividido el espectro electromagnético, las cuales deben ser discriminadas por el sensor. Entre menor el ancho y más bandas espectrales se puede asegurar que es mejor la resolución espectral (Canada Centre for Remote Sensing;, 2006).

Resolución temporal: es la frecuencia con la que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre, existen sensores los cuales se puede adquirir información cada día como el satélite Worldview-2 pero también existen algunos en los que se puede tener información cada 16 días como es el caso del satélite Landsat (Canada Centre for Remote Sensing;, 2006).

4.2.1 Satélite Worldview-2

El satélite Worldview-2 fue lanzado en el 2009, por DigitalGlobe. Las imágenes de este satélite están compuestas por 8 bandas espectrales, resolución espacial de 1.87m y 0.50m en la banda pancromática, una resolución radiométrica de 11 bits y una resolución temporal de 1.1 días, posicionándose en una de las mejores alternativas para el uso y procesamiento de imágenes. En la tabla 1 se encuentran las especificaciones del satélite.

Tabla 1: Especificaciones de las imágenes WorldView-2

ESPECIFICACIONES			
Resolución		Tamaño de pixel	Bandas
	Pancromática	50 cm, 65 cm, 2m	Pancromática
	Multiespectral (4 bandas)	2.0 m, 2.62 m	Azul, Verde, Roja, Infrarrojo Cercano 1
	Multiespectral (8 bandas)	2 m	Azul Costa, Azul, Verde, Amarilla, Roja, Roja Frontera, Infrarrojo Cercano 1, Infrarrojo Cercano 2
CARACTERISTICAS ESPECTRALES (Nanómetros)			
Satélite	Bandas	Resolución (nm)	
WorldView-2	Pancromática:	450-800	
	Multiespectral:		
	Azul Costa	396-458	
	Azul	442-515	
	Verde	506-586	
	Amarilla	584-632	
	Roja	624-694	
	Rojo Frontera	699-749	
	Infrarrojo Cercano 1	765-901	
	Infrarrojo Cercano 2	856-1043	

Fuente: DigitalGlobe (2010)

4.3 Procesamiento digital de imágenes

Una imagen puede ser definida como una función de dos dimensiones $f(x, y)$ donde x e y son coordenadas espaciales y f representa la amplitud de la intensidad o niveles de gris en un punto determinado con cantidad discretas finitas

de elementos. Es decir una imagen digital se compone de un número finito de elementos (píxeles) cada uno con su respectiva ubicación y valor particular.

Existen tres tipos de procesos informatizados para el procesamiento digital de imágenes: bajo nivel representa operaciones de preprocesamiento para reducir el ruido, contrastar y mejorar la nitidez de la imagen, se caracteriza por el hecho de que tanto las entradas y salidas son imágenes; el nivel medio implica tareas como segmentación (partición de la imagen en regiones u objetos), clasificación y descripción de esos objetos, éste nivel se caracteriza por el hecho de que sus entradas son imágenes y las salidas son atributos extraídos; y el alto nivel consiste en dar sentido a un conjunto de objetos reconocidos y la realización de funciones cognitivas (Gonzalez & Woods, 2002).

Realce y mejora de imágenes: es una de las principales técnicas de procesamiento digital de imágenes enfocado en mejorar la calidad visual, realzar las características de brillo y contrastes, reducir su contenido de ruido o intensificar los detalles presentes en la imagen (Aldalur & Santamaría, 2002). Entre los principales técnicas se encuentran los filtros de paso alto y paso bajo.

4.3.1 Filtros de paso alto

Los filtros paso alto permiten acentuar los componentes de alta frecuencia espacial sin tocar los componentes de baja frecuencia espacial. A continuación se enuncian algunos filtros paso alto.

Filtro Prewitt: este filtro determina un realce de borde direccional, con la utilización de un núcleo 3x3 puede generar ocho imágenes de gradientes en diferentes direcciones. La imagen del gradiente aparece negra siempre y cuando los valores son constantes, los bordes que tienen una orientación direccional correcta en la imagen original aparecerán en blanco en la imagen de gradiente.

Filtro Sobel: parten de los operadores de Prewitt que adicionan ciertos pesos en la máscara que aproximan a un suavizamiento Gaussiano. Los operadores Sobel son la combinación unidimensional de diferenciación y cierto suavizamiento. La imagen de salida presenta bordes en los puntos donde el gradiente de la imagen de entrada es máximo. La (Figura 3: Máscaras de convolución del método Sobel y sección de la imagen de entrada.) muestra las mascara utilizadas para calcular el gradiente en dirección horizontal G_x y vertical G_y . Zamanillo (2013).

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

G_x

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

G_y

f_1	f_2	f_3
f_4	f_5	f_6
f_7	f_8	f_9

Sección de la imagen de entrada

Figura 3: Máscaras de convolución del método Sobel y sección de la imagen de entrada.

Fuente: (Zamanillo, 2013)

Filtro Roberts: Permite detectar bordes mediante la utilización de un filtro vertical y horizontal en secuencia, luego estos resultados se suman para formar el resultado final. Calcula un gradiente local por lo cual se hace necesario definir un umbral. Es un filtro rápido pero también se ve afectado por ruido (Richards & Jia, 1999).

4.3.2 Filtros de paso bajo

Permiten suavizar los contrastes espaciales en las imágenes, dejando pasar o mantener intocables los componentes de bajas frecuencias mientras que los objetos de altas frecuencias se omiten de las imágenes. A continuación se enunciarán algunos filtros paso bajo.

El Filtro Gaussiano: es un operador bidimensional de convolución el cual es utilizado para eliminar ruido y suavizar bordes, para lo cual se emplea la distribución gaussiana 2D como función de desviación puntual. La distribución gaussiana en teoría es distinta de cero siempre, lo cual hace que requiera una máscara de convolución infinita Lira (2010).

El Filtro de Mediana: se calcula ordenando todos los valores de los píxeles en la vecindad y luego reemplaza el nivel de gris del píxel central por el valor del píxel del medio. Se diferencia del filtro de media debido a que es un promedio más robusto y un píxel poco representativo no afecta el valor de la mediana (Gonzalez & Woods, 2002).

4.3.3 Segmentación

La segmentación de imágenes se define como la partición de la imagen en regiones no traslapadas, las cuales son homogéneas de acuerdo alguna característica ya sea una intensidad o una textura Coto (2003).

Existen múltiples técnicas y algoritmos de segmentación que permiten dividir una imagen en diferentes regiones que corresponden a un objeto determinado. A continuación se enuncian alguna de ellas.

Segmentación por umbralización: La umbralización es una técnica de segmentación empleada cuando hay una diferencia entre los objetos a extraer respecto del fondo de la imagen. Parte de la similitud que existe entre los píxeles pertenecientes a un objeto y sus diferencias con respecto al resto. La dificultad radica en encontrar el valor correcto del umbral T , que logre aislar efectivamente las regiones de interés Platero (2009). Uno de los principales métodos de segmentación de imágenes por medio de umbralización es el método de Otsu el cual, selecciona el umbral óptimo maximizando la varianza entre clases mediante una búsqueda exhaustiva.

Detección de bordes: se basa en la diferencia de una característica en dos regiones adyacentes los cuales indican la existencia de un borde. Estos pueden clasificarse de acuerdo a la anchura, ángulo de pendiente y coordenadas del punto medio. Las diferencias se determinan a partir de la utilización de derivadas de primer y segundo orden La Serna & Roman (2009).

Crecimiento de regiones: es una técnica utilizada para extraer regiones que estén conectadas bajo un criterio definido basado en las intensidades o bordes en la imagen. Este método requiere de la utilización de un punto semilla para extraer todos los objetos que están conectados a la semilla establecida (Coto, 2003). De la técnica de crecimiento de regiones se destaca unión de regiones en la cual se fija una región inicial a la que se le agregan píxeles de acuerdo al criterio de homogeneidad, seguido de esto se encuentra división de regiones en la cual se dividen los objetos que no cumplan con la condición de homogeneidad (Montaner, 2006) .

4.3.4 Morfología matemática

Es una técnica de procesamiento no lineal de la señal basado en la teoría del conjunto; y, se caracteriza por realzar la geometría y forma de los objetos. El principal objetivo de las operaciones morfológicas es simplificar imágenes y conservar las principales característica de forma de los objetos así como extraer estructuras geométricas en los conjuntos en los que se trabaja por medio de la utilización de otro conjunto con forma conocida Platero (2009). Las operaciones morfológicas se definen a partir de dos operaciones básicas erosión y dilatación.

Erosión: es el resultado de comprobar si el elemento estructurante B está completamente incluido dentro del conjunto X. Se define una geometría al elemento estructurante y se pasa sobre la imagen, los objetos que sean menores que el elemento estructurante no aparecen en la imagen resultante y los que quedan en la imagen son degradados. En la (Figura 4:a) Imagen original, b) Imagen segmentada, c) Imagen erosionada con elemento estructurante tipo disco de radio 2) se presentan los resultados de la aplicación del algoritmo de erosión en el software Matlab.



Figura 4:a) Imagen original, b) Imagen segmentada, c) Imagen erosionada con elemento estructurante tipo disco de radio 2

Fuente: (Platero, 2009)

Dilatación: consiste en asignarle un valor igual a 1 si existe al menos un pixel de intersección entre el subconjunto de la imagen original y el elemento estructurante desplazado, y un valor de 0 si la intersección es vacía (Gonzalez M. , 2008). La (Figura 5: a) Imagen original, b) Imagen segmentada, c) Imagen dilatada con elemento estructurante tipo disco de radio 5) muestra el procesamiento de la imagen hasta obtener la imagen dilatada.

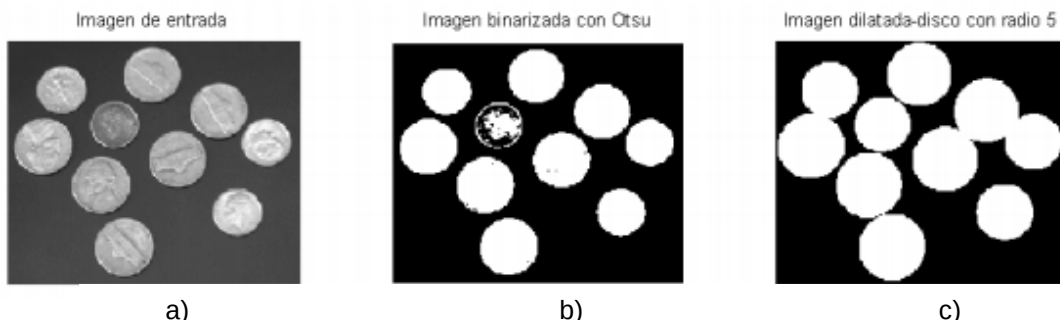


Figura 5: a) Imagen original, b) Imagen segmentada, c) Imagen dilatada con elemento estructurante tipo disco de radio 5

Fuente: (Platero, 2009)

La dilatación en cualquier tipo de imágenes ya sean binarias o imagen en tono de grises, representa el máximo valor de las traslaciones definidas por la forma (disco, caja) del elemento estructurante en cada lugar de la imagen (Ortiz, 2002).

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Teledetección

Las imágenes de satélites captadas por los diferentes sensores requieren corregir ciertas distorsiones para minimizar las anomalías presentes en el momento de la toma, razón por la cual es necesario aplicar distintos algoritmos que permiten ajustar dichas distorsiones causadas por diversos factores. A continuación se presentan algunos de los métodos más utilizados para esto.

Corrección atmosférica: busca minimizar o eliminar la dispersión causada por los componentes de la atmosfera sobre la radiación electromagnética. Dicha corrección se denotada por ecuación 1:

$$ND_{ijk} = ND_{ijk} - ND_{min} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

ND_{ijk} =Niveles digitales del pixel (i, j) en la banda k.

ND_{min} = Niveles Digitales mínimos de la misma banda.

La conversión de los niveles digitales a parámetros físicos se da inicialmente con la conversión de los ND a radiancia espectral detectada por el sensor, utilizando los parámetros de calibración del sensor de la ecuación 2:

$$L_{sen(k)} = a_{0(k)} + a_{1(k)}ND_{(k)} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

$L_{sen(k)}$ = Radiancia espectral recibida por el sensor en la banda k.

$a_{0(k)}$ = Coeficientes de calibración para la banda k.

$a_{1(k)}$ = Coeficientes de calibración para la banda k.

$ND_{(k)}$ = Nivel digital en esa banda de la imagen.

Una vez se han realizado los cálculos de la radiancia se procede a calcular los valores de reflectancia que representa la fracción de energía reflejada por un objeto posteriormente a la incidencia de la misma superficie Chander et al., (2009). Dicho cálculo está dado por ecuación 3.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{sen(k)} d^2}{ESUN_{\lambda} \cos \theta_s}$$

Ecuación 3

Dónde:

ρ_{λ} = Reflectancia en la parte alta de la atmosfera.

π = Constante matemática 3.14159.

$L_{sen(k)}$ = Radiancia espectral del sensor.

d = Distancia tierra –sol.

$ESUN_{\lambda}$ = Irradiancia espectral exoatmosférica.

θ_s = Angulo cenital solar.

Con las imágenes satelitales se puede determinar la reflectancia en cada cultivo el cual varía en todas las longitudes de ondas, pero su variación es más notoria entre los rangos del infrarrojo cercano y del rojo visible, las plantas tienen baja reflectancia en las bandas azul y roja debido a la absorción de la clorofila y presenta valores de reflectancia más alta en la banda verde lo que hace que las plantas sean verdes a nuestros ojos, Govaerts et al., (2010). Las características anatómicas de las plantas son afectadas por factores medioambientales como la humedad del suelo, la cantidad de nutrientes, la salinidad y la etapa fenológica en que se encuentra la planta. Debido a que el máximo contraste de la reflectancia entre la vegetación y el suelo ocurre en la región del rojo y del infrarrojo cercano estos datos son utilizados para construir múltiples índices de vegetación.

El Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI- Normalized Difference Vegetation Index, por sus siglas en ingles), se calcula a partir de las mediciones de la reflectancia en el rango del rojo y el infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) del espectro (ecuación 4):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

Ecuación 4

Dónde:

ρ_{NIR} = Es la reflectancia en el infrarrojo cercano.

ρ_{RED} = Es la reflectancia en el rojo visible.

El NDVI arroja valores entre -1 y 1, los cuales representan estado de salud y vigor de la vegetación entre otros.

5.2 Procesamiento digital de imágenes

5.2.1 Realce y mejora de imágenes

El realce y mejora de la imagen corresponde a un conjunto de técnicas dirigidas a mejorar la calidad visual de la imagen.

Ecualización del histograma: el ajuste del contraste no tiene en cuenta las características del histograma de la imagen si no los extremos, aquellos ND con mayor número de píxeles serán los que ocupen un mayor rango de visualización.

5.2.2 Filtros

Filtrar una imagen consiste en aplicar una transformación para obtener una nueva imagen de forma que permita disminuir o resaltar características (Sucar & Gómez, 2011).

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

$g(x, y)$ = Nueva imagen filtrada.

T = Transformación de la imagen.

$f(x, y)$ = Imagen inicial.

Los filtros en el dominio espacial están enfocados sobre los píxeles de la imagen operando en la vecindad mediante la utilización de una máscara cuadrada o rectangular, entendiéndose por máscara como una pequeña imagen con una serie de valores para cada posición.

Filtro gaussiano: los filtros paso bajo permiten eliminar ruido y objetos que no son de interés, el filtro gaussiano está dado por una aproximación gaussiana en dos dimensiones (Ecuación 6).

$$T(x, y) = e^{-[(x^2+y^2)/2\pi\sigma^2]} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

σ = Desviación estándar.

$T(x, y)$ = Imagen resultante de la transformación.

Filtro Sobel: parte de la convolución de dos matrices, una matriz vertical G_y y otra horizontal G_x , las cuales producen imágenes con las diferentes de gradientes en coordenadas cartesianas ver ecuación 7 Calot et al., (2008).

$$G_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} * A; \quad G_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} * A \quad \text{Ecuación 7}$$

5.2.3 Segmentación

Segmentación por umbralización: el método de Otsu separa la imagen en dos regiones de acuerdo a un umbral óptimo maximizando la varianza entre clases

$$\sigma_B^2 = P_f P_b (\mu_f - \mu_b)^2 \quad \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

σ_B^2 = Varianza entre las dos regiones

P_f = Probabilidad de pixeles con luminancia menor a un umbral T

P_b = Probabilidad de pixeles con luminancia mayor a un umbral T

μ_f = Media de los pixeles con luminancia menor a un umbral T

μ_b = Media de los pixeles con luminancia mayor a un umbral T

El cálculo del umbral óptimo está dado por:

$$T^* = \text{Max}\{\sigma_B^2(T)\} \quad \text{Para } 0 \leq T \leq 255 \quad \text{Ecuación}$$

Calot et al., (2008), como se muestra a continuación:

Erosión: la erosión busca responder si el elemento estructurante queda incluido dentro del subconjunto de la imagen binaria, el resultado es cero cuando no está incluido en el subconjunto.

La erosión del conjunto A por el elemento estructurante B(x) está definido por la ecuación 8.

$$A \ominus B = \{x: B(x) \subset A\} \text{ Siendo } B(x) = \{b + x: b \in B\}$$

Ecuación 10

6. MARCO REFERENCIAL

De acuerdo con Ozdemir y Karnieli (2011), quienes plantearon una metodología para el catastro de plantaciones a partir del análisis de la estructura de los árboles como lo son la densidad de árboles, área basal², volumen del tallo, biomasa, altura del tallo etc. y la textura de la imagen. La extracción de las características de la imagen se realizó a partir de la segmentación por el denominado método de ajedrez, en este método la imagen se divide en cuadrados del mismo tamaño, para el caso se tomaron 15x15 pixeles de las imágenes WorldView-2. Este método en combinación con los modelos de regresión permite una mejor interpretación de las coberturas, estos datos fueron exportados a un Sistema de Información Geográfico (SIG). Las medidas de textura se trabajaron con funciones de primer orden como lo es la desviación estándar de los niveles de gris y la varianza de los valores originales y de segundo orden como lo son: el contraste, el orden y la estadística descriptiva, generando modelos de regresión para predecir los parámetros estructurales del bosque.

Los resultados de esta metodología demuestran que varias características de textura mostraron correlaciones estadísticas significativas pero la mayoría de los datos fueron excluidos por problemas de multicolinealidad. La entropía de la banda azul fueron los mejores predictores de los parámetros estructurales.

De acuerdo con Pu y Landry (2012) en su artículo emplean una clasificación orientada a objetos con la utilización de imágenes WorldView-2 e IKONOS, estas imágenes fueron utilizadas con el fin de inventariar las diferentes clases de árboles que se encuentran en la ciudad de Tampa Florida EEUU, dentro de la metodología utilizan una combinación de falso color para identificar los árboles y tomar patrones de entrenamiento combinado con datos de campo e imágenes aéreas. En la metodología, se realizó la calibración radiométrica y el cálculo de reflectancia, además se utilizó el índice de vegetación normalizado NDVI y se calculó la segmentación por multiresolución. Este método tiene en cuenta un factor escala y la heterogeneidad que está determinada por color y forma. Para la creación de objetos, se tuvo en cuenta las áreas de vegetación analizadas a partir del NDVI, lo que permitió identificar la copa de los árboles con información de textura e intensidad.

² Área basal: Es la suma de las secciones normales de todos los árboles existentes en una hectárea.

Dentro de los resultados se seleccionaron 15 características de las imágenes IKONOS, WV-4 y 23 de las WorldView-2, dentro de las cuales se identificaron 7 clases de árboles. Se encontraron ciertas inconsistencias que se asociaron a la diferencia de fechas de las imágenes, como son: características espectrales, la estructura o forma de algunas especies.

De acuerdo con Mora et al., (2010) quienes con el fin obtener altura de los arboles a partir de la utilización de imágenes QuickBird. Emplearon la técnica de segmentación para delimitar bosques homogéneos. Este proceso fue acompañado de un filtro de mediana el cual permite atenuar los objetos y evitar la sobre-segmentación como resultado de la alta resolución espacial de la imagen QuickBird. Los parámetros de la segmentación fueron trabajados de la siguiente manera color: 0.3, compacidad: 0.9 y escala: 1200. En el desarrollo del proyecto se realizó una clasificación de la cobertura del suelo para determinar el componente de cada segmento se agruparon en bosque, hierba, tierra expuesta y agua, finalmente se excluyeron todos los segmentos no forestales.

La delimitación de la corona del árbol, se realizó mediante el uso del algoritmo de corona individual de árbol incluido en el software PCI Geomatics. Se empleó arboles de regresión debido a que son funciones no paramétricas, variables continuas y se distingue relaciones no lineales entre los datos

La validación fue realizada teniendo en cuenta las alturas interpretadas manualmente. El resultado mostró que fue posible determinar la altura de los arboles con un $R^2 = 0.53$ con 426 segmentos cada uno de ellos con un promedio de hectáreas de 4.9 hectáreas.

De acuerdo con Korom et al., (2012) quienes plantean una metodología para la delineación individual de árboles de palma de aceite, desarrollada en tres conjuntos de datos a) procesamiento previo de la imagen, b) segmentación de imágenes y c) evaluación de la segmentación.

Inicialmente se realiza la ubicación de palmas con sistemas de posicionamiento global (GPS) Garmin con precisión de ± 10 metros, seguido de la utilización de los índices de vegetación tales como índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de vegetación diferencial (DVI) y el índice de infrarrojo de diferencia normalizada (NDII). Luego se realiza un enmascaramiento de pixel con el uso de los índices de vegetación calculados, para discriminar tres tipos de cobertura suelos estéril, vegetación y objetos como metal o algún otro mineral, seguido de la

segmentación por el método de Watershed (línea divisoria de agua). La validación de esta metodología se desarrolló mediante la comparación de digitalización manual y la cantidad de palmas resultantes del algoritmo. La (Figura 6: Resultados delineación individual), representa la comparación realizada con los puntos tomados con GPS y la delineación de las palmas mediante el algoritmo.

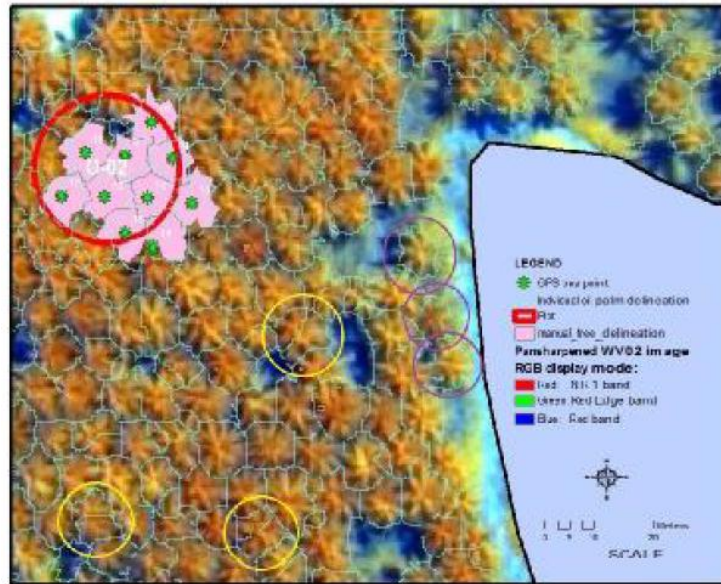


Figura 6: Resultados delineación individual

Fuente: Korom et al, (2012)

Esta metodología arrojó muy buenos resultados debido a que se corrige uno de los principales problemas de la segmentación que es la sobre-segmentación, la aplicación de los índices de vegetación permitieron enmascarar mediante varias interacciones pastos, suelos desnudo o con minerales, y sombra, lo cual generó que el algoritmo se enfocara únicamente en las palmas de aceite. De esta forma los autores plantean que es un excelente método probado en palma adulta.

De acuerdo con Chemura, (2012) quien estableció una metodología para determinar la edad de la palma de aceite usando imágenes de alta resolución, a partir de un algoritmo de clasificación orientado a objeto, en el cual se realizó un inventario de la cantidad de palma presente en la zona de estudio, se aplicó un filtro paso bajo de tamaño de ventana 3x3 para reducir el ruido presente en las imágenes de alta resolución espacial, se georreferenció con GPS las palmas que conservara la distancia normal de siembra dentro de un área de influencia de una circunferencia de 17.5 metros, se aplicó el algoritmo de segmentación por el método multiresolución de imágenes en el software Ecognition, se utilizó un enmascaramiento mediante la utilización de la banda del Infrarrojo cercano y el

índice de vegetación normalizado (NDVI), se calcula la cantidad de pixel de una palma que equivale a 32 pixeles, y en seguida se aplica el algoritmo morfológico y la transformada de Watershed que considera los objetos como una superficie topográfica en las cual se encuentran mínimos y máximos, una vez aplicado se utiliza el algoritmo morfológico que permite delinear mejor los objetos teniendo en cuenta la cantidad de pixel.(Figura 7: Delineación de coronas en composición en falso color (NIR1-rojo-azul) de imagen WorldView-2). Esta última capa fue exportada a centroides y se obtuvo el total de palmas.

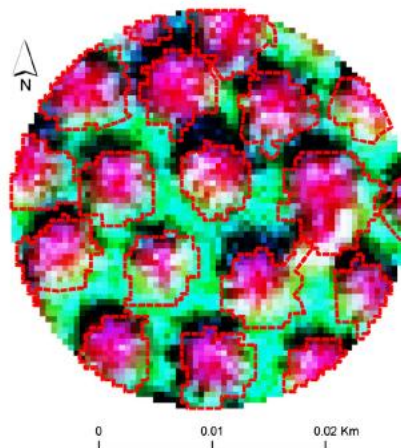


Figura 7: Delineación de coronas en composición en falso color (NIR1-rojo-azul) de imagen WorldView-2

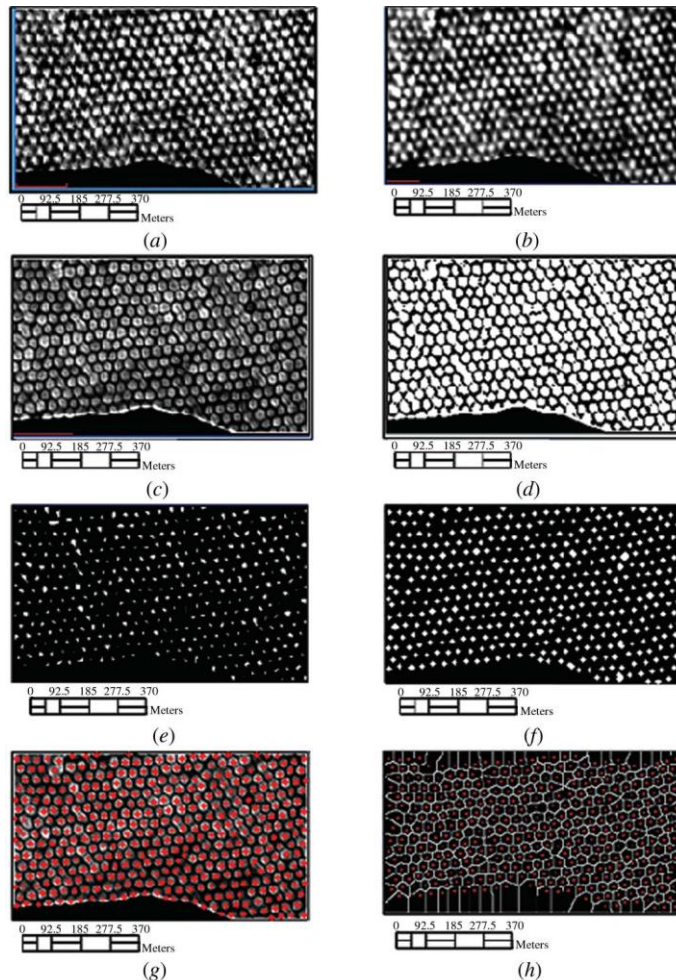
Fuente: (Chemura, 2012)

Los principales resultados demostraron una precisión entre 0.89, 0.86 y 0.59 para la edad entre 6, 7 y 13 años respectivamente, entre mayor sea la edad de la palma se produce mayor sobre-segmentación. El autor concluye que los resultados son favorables para la estimación de la edad y la delineación de las palmas pero que este tipo de estudio es difícil comparar con otros debido a las características de la escena, el conjunto de datos y los diferentes tipos de cultivos.

Por su parte Shafri et al, (2011), plantearon una metodología para la delineación de un cultivo de palma de edades entre 8 a 10 años a partir de imágenes hiperespectrales, en la cual se realiza una corrección geométrica y radiométrica (incluye corrección atmosférica, cálculos de radiancia y reflectancia). Realizaron un análisis espectral para seleccionar pixeles puros de palma de aceite con el fin de discriminar y realizar una clasificación de los objetos, analizando la reflectancia de la imagen y la textura mediante el uso de Matriz de Co-ocurrencia, seguido de esto aplicaron filtros para realzar bordes, como lo es el filtro Sobel, acompañado del cálculo de la magnitud del gradiente la cual está dada por la variación

horizontal y vertical, desarrollaron el cálculo de la segmentación por umbral y la reconstrucción morfológica de la imagen para finalizar con los objetos conectados y poder extraer el centro de la corona.

Dentro de los resultados se encuentran (Figura 8: Resultados del procesamiento: (a) pre-procesamiento, (b) análisis de textura, (c) realce de bordes, (d) segmentación, (e) erosión, (f) dilatación, (g) traslape de centroides y puntos, (h) puntos del centroide traslapado con delineación), el método de textura que permitió una mejor identificación de los bordes, segmentación dilatación, erosión



entre otros.

Figura 8: Resultados del procesamiento: (a) pre-procesamiento, (b) análisis de textura, (c) realce de bordes, (d) segmentación, (e) erosión, (f) dilatación, (g) traslape de centroides y puntos, (h) puntos del centroide traslapado con delineación

Fuente: Shafri et al (2011)

Los resultados obtenidos fueron comparados con datos de campo teniendo en cuenta la cantidad de palmas por km² y la densidad de siembra donde la exactitud

del conteo arroja valores entre 99% y 91%, estos ultimo el autor plantea que existe la probabilidad de errores en el reporte de datos de campo por ende los resultados podrían ser mejores.

Los principales errores encontrados está dado por la superposición de los objetos conectados lo que originó un mal conteo de palmas. Los autores concluyen que una mala determinación del umbral en la segmentación afectaría los resultados, lo mismo que el tamaño del elemento en la reconstrucción morfológica. La precisión media obtenida en este proyecto fue del 95%.

Culvenor, (2002) plantea un algoritmo para la delineación de árboles (TIDA) suponiendo que el centro de la corona es más brillante que el borde, entendiéndose como máximos radiométricos locales (picos) y mínimos locales (valles). Los máximos locales se utilizaron para calcular las posiciones semillas o puntos de partidas que están referidas al pico de la corona a estos se les realiza un análisis contextual basado en la búsqueda de cuatro direcciones lineales, el valor final para cada píxel oscila entre 0-4. Los mínimos locales se utilizaron para establecer una red de límites absolutos o de restricciones, un mínimo local se considera como existente cuando el valor del píxel en cualquiera de las direcciones es divergente respecto al píxel central, buscando cerrar brechas en los límites mínimos, eliminación de callejón sin salida o limite superfluo de píxeles y la reducción de los límites mínimos a un ancho de un píxel. La delineación de las copas de los árboles se realizó utilizando un enfoque de arriba hacia abajo y agrupamiento basado en el umbral teniendo en cuenta los pixeles de una corona que se encuentra al lado de un píxel semilla.

Los resultados demostraron que la metodología TIDA es más exacta en la delimitación de copas en bosques con la misma edad, la segmentación de campana en grupo de varios árboles proporciona una herramienta útil en el modelado de atributos estructurales.

Srestasathiern & Rakwatin, (2014) desarrollaron una metodología basada en el uso de imágenes QuickBird y WorldView-2, en un cultivo de palma de aceite con el fin de extraer la cantidad de palmas de la zona de estudio. Aplican un enfoque local para la detección de picos mediante la utilización de índices de vegetación, luego se emplea la selección de características, la cual depende de los resultados obtenidos con cada uno de los índices de vegetación, buscando diferenciar claramente la palma de aceite del fondo, se hicieron medidas de similitud de histograma acompañado de la elección del tamaño de ventana adecuado. Para este fin utilizaron una técnica de semi-variograma 2D debido a que en la mayoría

de plantaciones las distancias entre palmas son constantes y era posible establecer la distancia entre el pico local y su vecino más cercano, (Figura 9: Subconjuntos utilizados en la evaluación del desempeño, a) datos de prueba imágenes QuickBird y b) Semi-variograma posición de picos locales).

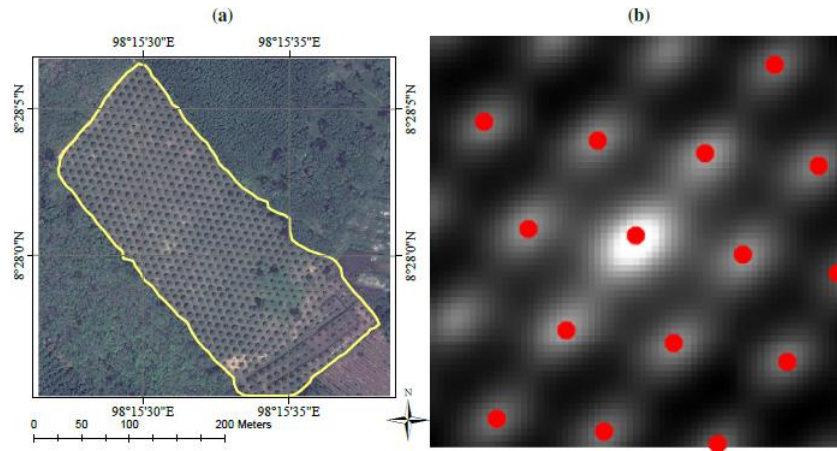


Figura 9: Subconjuntos utilizados en la evaluación del desempeño, a) datos de prueba imágenes QuickBird y b) Semi-variograma posición de picos locales

Fuente: (Srestasathiern & Rakwatin, 2014)

A partir de esta información se utiliza la transformación del rango. Con el fin de eliminar las fronteras de objetos borrosos aumentando la discontinuidad entre la palma y la intensidad del fondo, para la detección de los picos locales se utilizaron filtros gaussianos. Debido a que no era posible emplear un detector de picos directamente porque las formas de algunas áreas de la superficie puede ser cubierto por la colina.

Finalmente se realizan mediciones de rendimiento comparando resultados de detección con referencia en la interpretación manual. Se establecieron criterios para la evaluación como lo son verdadero positivo para las palmas que son detectadas correctamente, falso positivo para los árboles que fueron detectados como palma de aceite pero corresponde a otra cosa, falsos negativos para una palma que no fue detectada, Figura 10: Palmas de aceites detectadas con la metodología propuesta marcado con círculo rojo. Es posible observar una de las sub-escena de las imágenes los círculos rojo representan las palmas detectadas, el diámetro de estos no tiene relación con la copa de los árboles.

Los autores concluyen que el éxito de esta metodología que correspondió al 90% de detección. Depende del proceso de selección de características y transformación del rango a diferencia de otras metodologías que utilizan

directamente el NDVI como la característica que facilita discriminar la palma del fondo.

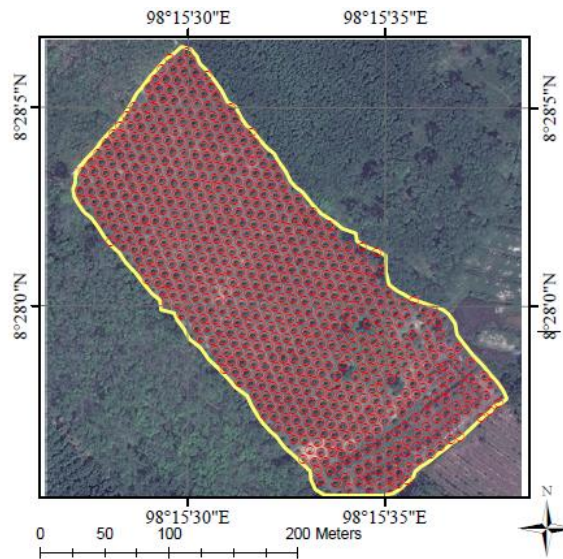


Figura 10: Palmas de aceites detectadas con la metodología propuesta marcado con círculo rojo.

Fuente: (Srestasathien & Rakwatin, 2014)

Según Walter, (2004) quien aplicó una metodología que se basa en el uso de clasificación orientada a objetos, para identificar cambios de coberturas, se realizó la clasificación de máxima verosimilitud que permitió definir y agrupar clases homogéneas. Para la clasificación orientada a objetos se utilizó una base de datos con cambios de uso del suelo almacenada en un Sistema de Información Geográfico, se analizaron las diferentes clases de uso del suelo por medio del comportamiento espectral y de texturas. Se utilizó un operador de textura basado en una matriz de co-ocurrencia, además se analizaron los niveles de gris como indicador de rugosidad de los objetos, se utilizó el Índice de Diferencia Normalizada (NDVI) y finalmente los resultados fueron comparados con la base de datos existente encontrando que 8.6% de los objetos fueron clasificados en un uso de tierra diferente.

Según Jing et al, (2012) quienes con el fin de delinear las coronas de los arboles por medio de segmentación de imágenes plantearon una metodología la cual se desarrolla en cinco pasos el primero consiste en la determinación de los tamaños dominantes del cultivo mediante la utilización de operaciones morfológicas donde fueron variando los tamaños incrementando 2 píxeles en cada parcela formando 5 grupos de tal forma que se eliminan los objetos que están por debajo de disco seleccionado, se utilizó la operación de apertura, erosión y dilatación. El segundo

paso corresponde al filtrado. Esto se realiza debido a los múltiples niveles de copas obtenidas en el paso anterior, se utilizó el filtro gaussiano con el objetivo de mejorar la coronas de los arboles con una forma y tamaño similar y eliminar objetos más pequeños, logrando diferenciar tres niveles de coronas con tres filtros gaussianos. El tercer paso corresponde a la segmentación de cuencas. Se utiliza por la similitud que existe entre el relieve geográfico y la corona de un árbol, cada uno de los objetos que no correspondían a vegetación fueron eliminados mediante la utilización de una máscara, los límites de los objetos encontrados requería de una alineación. El cuarto paso, corresponde a un refinamiento de los límites del segmento debido a que estos quedaron muy gruesos, se desarrolló mediante la selección de los objetos con más de la mitad de la superficie cubierta por segmentos gruesos, combinación de segmentos finos para crear uno nuevo y la sustitución del segmento grueso con el nuevo segmento. El quinto y último paso corresponde a la integración de los segmentos, lo que se realizó a partir de una superposición de los objetos, se trabajó con el supuesto de que una copa de árbol es más circular que un grupo de árboles para esto los autores plantean una serie de lineamientos: recortar segmentos finos para eliminar píxeles que no están cubiertos por segmentos gruesos, hallar los segmentos más fino que sean más grande que un umbral de copas mínimas, si se encuentra a menos de dos segmentos finos, si el segmento grueso tiene una relación de esbeltez inferior a un umbral, Figura 11: Mapas de segmentación refinados a) media y b) grandes niveles de coronas de árbol.

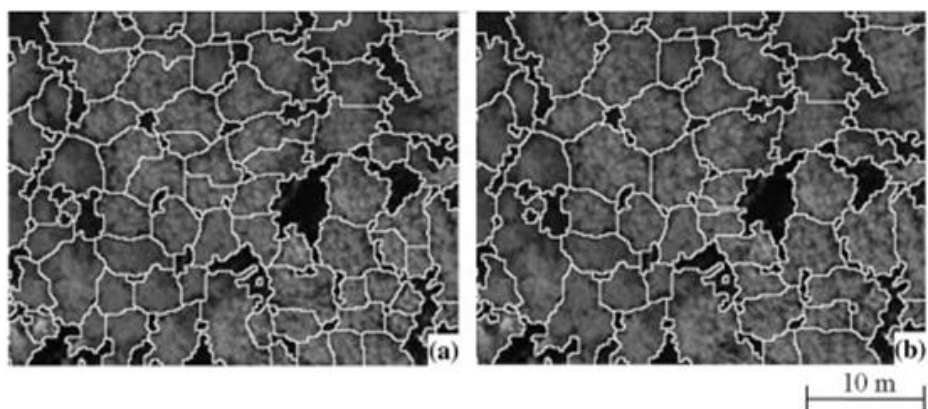


Figura 11: Mapas de segmentación refinados a) media y b) grandes niveles de coronas de árbol.

Fuente: Jing et al (2012)

Los resultados demuestran la eficiencia de la metodología donde cada una de las coronas de los arboles fueron seleccionadas, comparando con datos de campo en una de las parcelas obtuvieron de 51 árboles, de los que 40 árboles fueron delineados correctamente, siete se dividieron y cuatro fueron ignorados lo que arroja un porcentaje aproximado del 78% de exactitud.

7. MARCO METODOLÓGICO

Esta metodología está basada en una serie de procesos consultados previamente mediante la revisión bibliográfica de diferentes autores, con el fin de hacer una identificación automática de palmas como parte del levantamiento del catastro de palma de aceite.

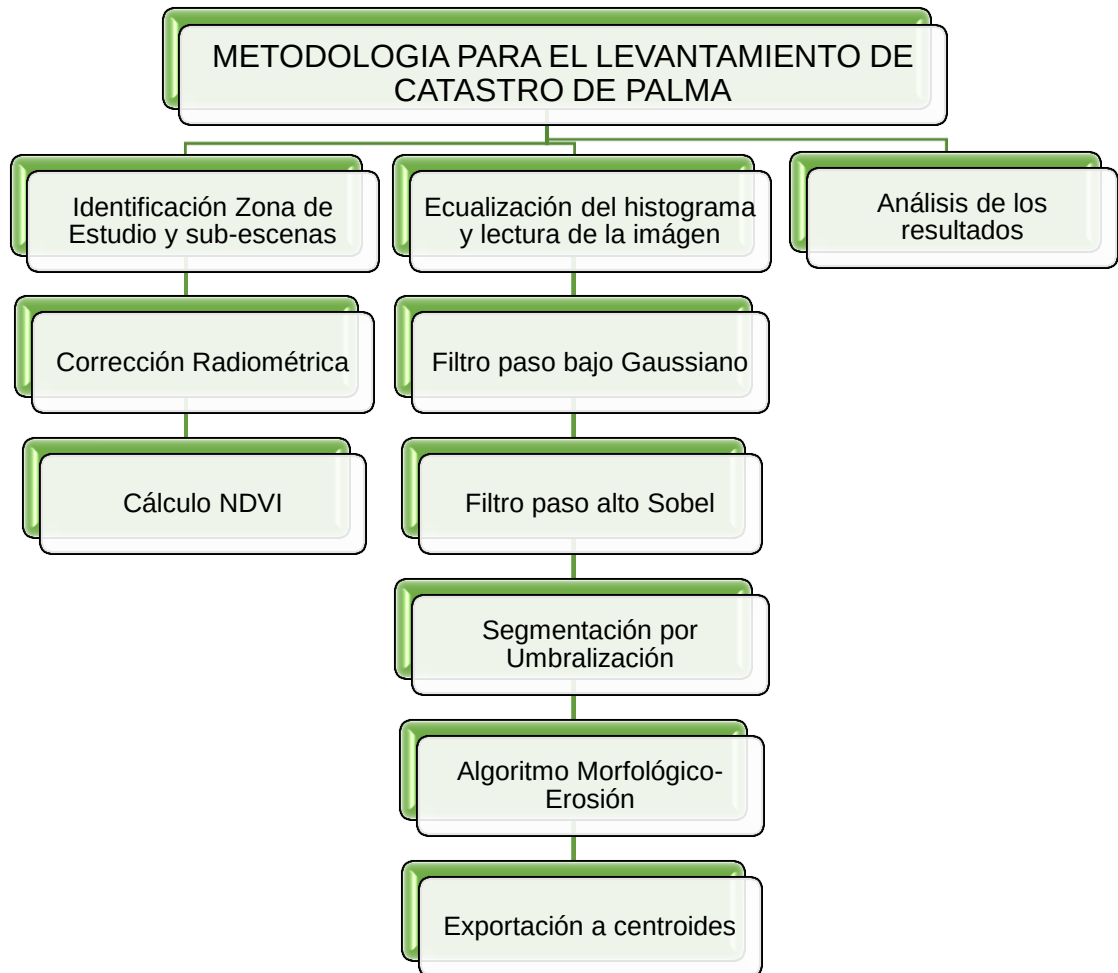


Figura 12: Esquema metodológico

7.1 Zona de estudio

La plantación Palmeras de la Costa S.A se encuentra ubicada en el municipio de El Copey Departamento del Cesar, por lo que hace parte de la zona palmera norte. Está localizada a $10^{\circ} 06' 05.23''\text{N}$ y $74^{\circ} 00' 38.32''\text{O}$ y a 180 msnm con una temperatura promedio de 35°C y una extensión aproximada de 4000 hectáreas ver

(Figura 13: Zona de estudio, a) Localización general, b) Imagen Worldview-2 Palmeras de la Costa).

Esta empresa agroindustrial del sector de las oleaginosas produce y comercializa los derivados del fruto de Palma Africana como lo son el aceite crudo de palma, aceite de palmiste y torta de palmiste.

Para el desarrollo del proyecto se contó con una imagen WorldView-2, tomadas por DigitalGlobe el 28 de Diciembre del 2011, las cuales tienen una resolución espacial de 0.50m, están compuestas por 4 bandas espectrales, y un porcentaje de nubes de 0.1%.

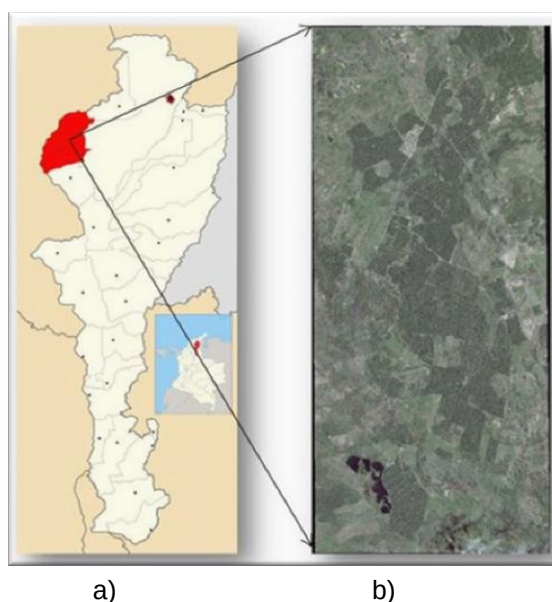


Figura 13: Zona de estudio, a) Localización general, b) Imagen Worldview-2 Palmeras de la Costa

La cantidad de palmas por lotes fue suministrada por la plantación, información correspondiente a un censo realizado a partir de la digitalización de las imágenes Worldview-2 y su respectiva validación con datos de campo, en la Tabla 2: Cantidad de Palmas por lote de la zona de estudio, se observa cada uno de los lotes correspondientes a la zona de estudio seleccionada, el material genético sembrado, cantidad de palmas, área bruta, densidad de palmas por cada hectárea sembrada.

Tabla 2: Cantidad de Palmas por lote de la zona de estudio

Lotes	Material De Siembra	Número de Palmas	Área Bruta (Hectáreas)	Densidad/ Hectáreas
1999-01	D X P Irho- M	1187	9,31	143

1999-02	D X P Irho- M	1674	12,04	143
1999-03	D X P Irho- M	2189	15,95	143
1999-04	D X P Irho- M	2851	20,57	143
1999-05	D X P Irho- M	3945	28,76	143
1999-06	D X P Irho- M	3654	26,91	143
1999-07	D X P Irho- M	3774	26,67	143
1999-08	D X P Irho- M	3603	26,81	143
1999-09	D X P Irho- M	4006	26,69	143
1999-10	D X P Irho- M	3886	26,59	143
2006-02	Comp x Ghana	5160	31,43	170
2006-03	Comp x Nigeria	935	5,98	170
2006-04	Comp x Nigeria	5566	34,27	170
2006-05	Comp x Nigeria	2565	15,23	170
2006-06	Comp x Ekona	1014	5,11	170
2007-01	C. Ghana	2131	13,70	170
2007-02	C. Ghana	5268	33,21	170
2007-03	C. Ghana + Nigeria	3960	24,56	170
2007-04	C. Ghana	2421	15,29	170
2007-05	C. Nigeria	1429	9,28	170
2007-06	Bemenda D.N.	5863	43,16	143
2007-07	Tanzamiat D.N.	5907	42,74	143
2007-08	C. Nigeria	6733	42,72	170
2007-09	C. Nigeria	6257	37,89	170
2008-01	Deli x Compacta	3216	19,29	170
2008-03	Compacta x Nigeria	3685	22,56	170
2008-04	Deli x Compacta	3992	26,45	170
2008-05	Deli x Compacta	1368	8,19	170
2008-06	Compacta x Nigeria	3200	20,69	170
2008-07	Compacta x Ghana	4728	29,94	170
2008-08	Deli x Yangamby	7361	53,07	143
2009-02	Compacta x Ghana	2205	14,93	170
2009-03	Deli x Compacta	2206	8,44	171
2009-04	Dj x C x Mixta	3127	18,69	143
2009-05	Dj x C x Mixta	2616	18,76	143

7.2 Corrección radiométrica de imágenes Worldview-2

Las imágenes Worldview-2 incluyen un pre-procesamiento realizado por el distribuidor DigitalGlobe, en el cual se normalizan las radiancias (q), al dividirlos por la radiancia máxima medida en cada banda.

Para que las radiancias relativas (q), fueran comparables con los datos tomados con otros sensores se corrigen atmosféricamente, obteniendo valores de radiancias absolutas (L) empleando la siguiente ecuación 11 (Updike & Comp, 2010):

$$L_{i,j} = \frac{k_j x q_{ij}}{\Delta \lambda_j} \quad \text{Ecuación 11}$$

Dónde:

i =Número de píxel.

j =Número de banda.

$\Delta \lambda$ =Anchos de bandas efectivos.

k =Factores de calibración radiométrica absoluta.

Los valores de ancho $\Delta \lambda$ y k se encuentran en el metadato de las imágenes, la ecuación 11 se aplica para cada una de las bandas y es.

Después de tener las imágenes en valores de radiancias absolutas (L), se transforman a valores de reflectancia (ρ), con el fin de que la respuesta espectral corresponda a la cantidad de energía solar que es reflejada por el cultivo. Según (Updike & Comp, 2010) se debe aplicar la Ecuación 3 planteada en el marco teórico.

Dónde

$$\rho_{i,j} = \frac{L_{i,j} \cdot d^2 \cdot \pi}{E_j \cdot \cos \theta}$$

i =Número de píxel.

j =Número de banda.

Para utilizar la (Ecuación 3), se debe conocer la distancia (d), el ángulo cenital solar (θ) y la irradiancia solar espectral promedio (E), y la información para calcular estos valores están en los metadatos de las imágenes.

Para calcular la distancia Tierra-Sol (d) se debe identificar el tiempo de adquisición de las imágenes, información del metadato. Como el tiempo de adquisición de la imagen se encuentra en el formato de hora UTC³ se debe recuperar desde este formato el año, mes, día y calcular el tiempo universal (UT) de las horas (hh), minutos (mm) y segundos(ss) ver ecuación 12:

$$UT = hh + \frac{mm}{60} + \frac{ss.dddddd}{3600} \quad \text{Ecuación 12}$$

Para calcular el día Juliano (JD):

$$A = TRU\left(\frac{año}{100}\right)$$

$$B = 2 - A + Tru\left(\frac{A}{4}\right)$$

$$JD = Tru(365.25 * (año + 4716)) + Tru(30.6001 * (mes + 1)) + dia + \frac{UT}{24} + B - 1524.5$$

Ecuación 13

Donde la expresión $Tru(\quad)$, se refiere a truncar el valor obtenido y continuar solo con la parte entera del resultado de la operación.

El JD viene siempre determinado por el tiempo universal y dado que la fecha de adquisición de las imágenes es posterior al 4-10-1582, entonces el calendario es el gregoriano y es necesario realizar la conversión de calendario gregoriano a día juliano a partir de los factores de corrección A y B .

Una vez se ha calculado el JD a partir de la ecuación 13, la distancia Tierra-Sol se puede determinar utilizando las siguientes ecuaciones:

$$d = JD - 2451545$$

Dónde

JD= Día juliano

$$g = 357.529 + 0.98560028 \times d$$

$$d = 1.00014 - 0.01671 \times \cos g - 0.00014 \times \cos 2g \quad \text{Ecuación 14}$$

³ Tiempo Universal Coordinado, consiste en el tiempo real pero referido a la posición de la tierra con los otros astros, y en especial con el sol.

El ángulo cenital solar se calcula:

Dónde $\theta = 90.0 - SunEL$ Ecuación 15

SunEL es el ángulo medio de elevación solar.

En la Tabla 3: Parámetros de Worldview-2 para cálculo de radiancias relativas a absolutas, se encuentran los valores obtenidos del metadato de la imagen para cálculo de las variables.

Tabla 3: Parámetros de Worldview-2 para cálculo de radiancias relativas a absolutas.

PARAMETROS DE WORLDVIEW-2 PARA CALCULO DE RADIANCIA RELATIVAS A ABSOLUTAS			
Bandas	Factor de Calibración radiométrica absoluta (K)	Ancho de banda ($\Delta\lambda$)	Irradiancia solar espectral promedio
Blue	1,26083E-02	5,43E-02	1974,2416
Green	9,71307E-03	6,30E-02	1856,4104
Red	1,10362E-02	5,74E-02	1559,4555
NIR	1,22438E-02	9,89E-02	1069,7302

7.3 Determinación de sub_escena de la zona de estudio

Debido al peso para el procesamiento de la imagen y buscando homogeneidad de los datos se establecieron sub_escenas para los años de siembra 1999, 2006, 2007, 2008, 2009 las cuales cubren un área aproximada de 840 Hectáreas y es posible diferenciar palma adulta de palma mediana y pequeña teniendo en cuenta que la imagen de satélite corresponde al 28 de Diciembre de 2011.

7.4 Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado

El NDVI se utiliza ampliamente para mejorar la discriminación de cubiertas vegetales, medir el vigor de las plantas, la producción de biomasa así como para distinguir la vegetación del suelo. Es uno de los índices de vegetación más utilizado, se parte de los valores de reflectancias obtenidos con la utilización de (Ecuación 3).

En este estudio el índice fue utilizado para diferenciar los valores de reflectancia de la vegetación respecto a los del suelo, para generar una máscara y de esta forma mejorar los resultados de la segmentación.

7.5 Lectura de la Imagen en Matlab

El alto nivel de detalle que poseen las imágenes Worldview-2 hacen que su procesamiento para cualquier software y computador sean de un alto rendimiento, para la lectura de las imágenes se aplicó una mejora del contraste mediante la ecualización del histograma. Seguido de este se utilizaron filtros para realce y mejora de la imagen. La ecuación 16 se plantea el código utilizado para la lectura de las imágenes en Matlab.

```
Banda1=histeq(imread('D:\CODIGO\palmaskC\1999\1999b1.tif'));
Banda2=histeq(imread('D:\CODIGO\palmaskC\1999\1999b2.tif'));
```

Ecuación

16

7.6 Aplicación de Filtro Gaussiano y Sobel

El filtro pasa bajo Gaussiano se utilizó para atenuar ciertas frecuencias, eliminar ruido y resaltar objetos de interés, la elección del filtro se debe al análisis de los resultados arrojado con otros métodos y teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada. La secuencia de la metodología planteada implica el cálculo del filtro Gaussiano seguido del filtro Sobel, lo cual permite resaltar los bordes y objetos significativos en la imagen como las palmas de los objetos que han sido preclasificados con la utilización del filtro anterior. Por el contrario el filtro Sobel se aplicó con el fin de resaltar bordes en la imagen y objetos significativos como las palmas. La ecuación 17 muestra el código utilizado para el cálculo del filtro Gaussiano y Sobel.

```
K = fspecial('gaussian',[5 5],10);
Gaussian = imfilter(Imagen_gris,K,'replicate');
```

Ecuación

17

```
K1 = fspecial('sobel');
Sobel = imfilter(Gaussian,K1,'replicate');
```

7.7 Segmentación por umbralización

Se utilizó la segmentación por umbralización método de Otsu, el cual calcula un umbral óptimo y lo compara con cada píxel de la imagen, el resultado de esta

comparación determina si el píxel se convertirá a blanco o negro, objeto o fondo, 0,1. La segmentación es uno de los pasos más importantes dentro del procesamiento debido a que este permite la división de la imagen en objetos u regiones de acuerdo al umbral establecido. La ecuación 18 representa el código utilizado para la segmentación, el cual inicia con el cálculo del umbral óptimo (level1) seguido de la binarización de la imagen (BW1).

```
level1=graythresh(Sobel);  
BW1=im2bw(Sobel, level1);  
18
```

Ecuación

7.8 Algoritmo Morfológico de Erosión

Seguido de la segmentación se aplicó morfología matemática con el cual se buscó poder definir correctamente cada uno de los objetos eliminando ruidos y dividiendo los objetos muy grandes, se inicia con la definición del elemento estructurante en donde se escoge un disco.

```
Se11 = strel('disk', 1);  
Erosionar1=imerode(BW1, Se11);
```

Ecuación 19

8. RESULTADOS

8.1 Corrección radiométrica de imágenes Worldview-2

Se realizó el cálculo de radiancias absolutas (L) utilizando la Ecuación 11 seguido del cálculo de corrección atmosférica propuesto por DigitalGlobe para imágenes WorldView-2 utilizando los valores del metadato, posteriormente se calcula la reflectancia y se obtienen nuevos valores para cada una de las bandas.

La imagen resultante representa la cantidad de energía reflejada por la superficie que atraviesa la atmosfera y es captada por el sensor, el perfil espectral de la Figura 14, ratifica la teoría de interacción de la energía con la superficie en donde la vegetación presenta valores bajos de reflectividad en el espectro visible y más elevado en la banda infrarrojo cercano.

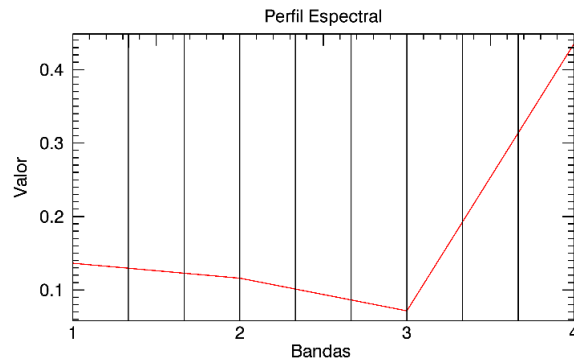


Figura 14: Perfil espectral

8.2 Determinación de sub-escenas de la zona de estudio

La zona de estudio se dividió en muestras representativas para el procesamiento en la cual se agruparon de acuerdo al año de siembra y condiciones específicas del cultivo, en las cuales se encuentra siembras correspondientes a los años 1999: 220 hectáreas, 2006: 93 hectáreas, 2007: 267 hectáreas, 2008: 208 hectáreas, 2009: 60 hectáreas con distancias entre palmas que varían desde 8.50m a 9m, ver figura 15.

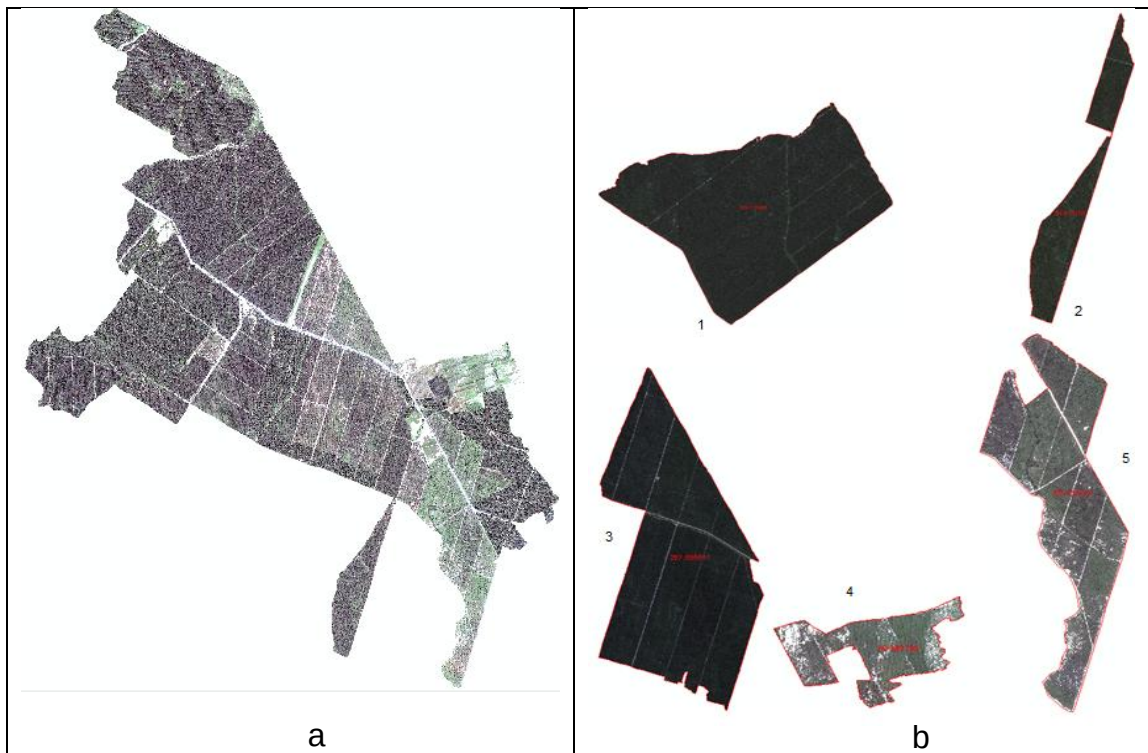
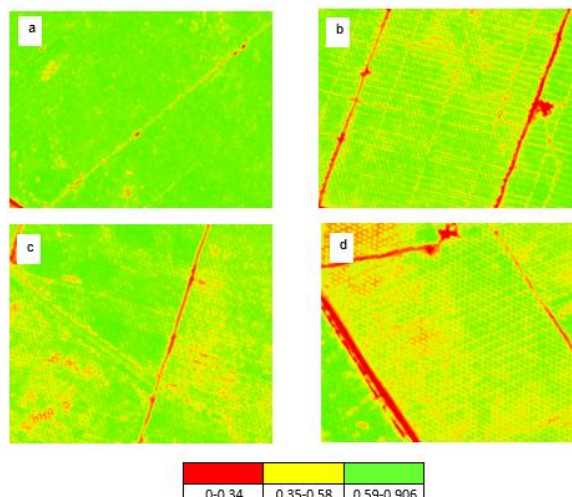


Figura 15: a) Imagen general zona de estudio. b) Sub-escena zona de estudio; 1) Siembra 1999, 2) Siembra 2006, 3) Siembra 2007, 4) Siembra 2009, 5) Siembra 2008

Teniendo en cuenta que la imagen de satélite corresponde al 28 de Diciembre de 2011, se seleccionaron los años de siembra 1999 (12 años) el cual representa la palma adulta y distancia entre palma de 9 metros, la siembra 2006 y 2007 (5 y 4 años), se trabajo como una edad media del cultivo, la siembra 2008 (3 años) tiene una característica particular debido a que estos lotes fueron sembrados por medio de Underplanting (existencia de palma pequeña en la mitad de la palma vieja), y en la fecha de la imagen aun existian restos del estipite de la palma vieja en el lote, finalmente esta el grupo del año 2009 (2 años) estos se escogieron debido a que presenta suelo desnudo y salinos.

8.3 Cálculo de Índice de Diferencia Normalizado

El índice de vegetación NDVI, se calculó a partir de los valores de reflectancia obtenidos anteriormente, según la bibliografía las áreas con vegetación presentan los mayores valores de NDVI, el suelo desnudo tiene índice de vegetación cerca de cero y las regiones con presencia de agua, nubes y la nieve tienen valores negativos y cercanos a 0. En la figura 16 se observa los altos valores que presenta la imagen a) la cual corresponde a siembra 1999 donde ya ha cerrado las calles y solo es posible distinguir zonas de erradicación de palmas y las vías de división entre los lotes, en la imagen b) y c) aun muestra alguna calles del cultivo y zonas con posible deficiencia de algún nutriente o variación del tipo de suelo, en la imagen d) estos lotes presentan una características especial y es que corresponde a suelos salinos, en esas regiones el desarrollo de la palma es más lento y es notorio el cambio por las condiciones. Se estableció una máscara con el NDVI a cada una de las sub-escenas, para la siembra 1999, 2007 y 2006 se eliminaron los valores que van desde 0-0.58 los cuales correspondían a vías, espacios por palmas erradicadas o faltantes. Para los años de siembra 2008 y 2009 se eliminó el rango que va desde 0-0.34 debido a el tipo de suelo (franjas salinas) y la edad del cultivo el índice de vegetación arroja valores muy bajos. Seguido de la utilización del índice de vegetación como mascara se hizo la lectura de las



imágenes en el software Matlab.

Figura 16: Índice de vegetación de diferencia normalizado; a) Siembra 1999, b) Siembra 2007, c) Siembra 2008, d) Siembra 2009.

8.4 Lectura de las imágenes en Matlab

Las sub-escenas resultantes de la máscara se realizaron por separado en cada una de las bandas a partir de la ecualización del histograma, debido al peso y a las características del computador, no fue posible utilizar la función tradicional de Matlab (imread). La composición de las bandas se realizó en tono de grises. (Figura 17).



Figura 17 Ejemplo lectura fragmento de imagen 2009 en MatLab

8.5 Filtro Gaussiano

A partir de las imágenes en niveles de gris se utilizó el filtro paso bajo Gaussiano de tamaño de ventana 5x5, suavizando los elementos de la imagen que son visibles por el nivel de detalle. En la figura 18a representa la imagen original y la 18b corresponde a la imagen resultante después del filtro, se observa como han sido opacados los objetos y se ha reducido alguno detalles, como el brillo, forma, textura entre otros.

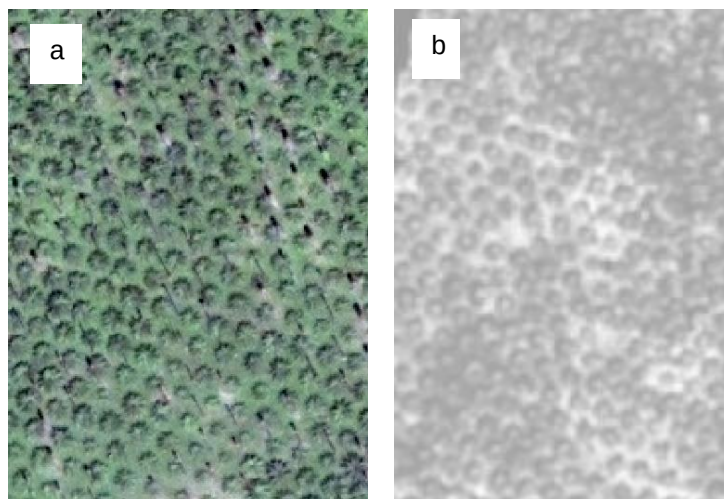


Figura 18: Resultados aplicación del filtro Gaussiano: a) imagen original, b) imagen después del filtro gaussiano

8.6 Filtro pasa alto Sobel

Los resultados una vez utilizado el filtro Sobel, la figura 19 muestran la forma de las palmas, resultados obtenidos en la siembra 2009 en la cual se aprecia la forma de las palmas se resalta un número significativo de bordes y en algunos casos se ve la unión de varias palmas dentro de una misma línea como se muestra en el recuadro rojo de la imagen 19b, en la imagen 19c siembra 1999, representa un cultivo adulto en el cual las calles de las palmas han sido cerrados por el dosel y el filtro paso alto genera una gran confusión y ruido debido a que se hace muy difícil distinguir cada uno de los objetos, lo único que se diferencia se aprecia con unos óvalos de color rojo en la imagen 19d donde las palmas erradicadas son fácilmente identificables.

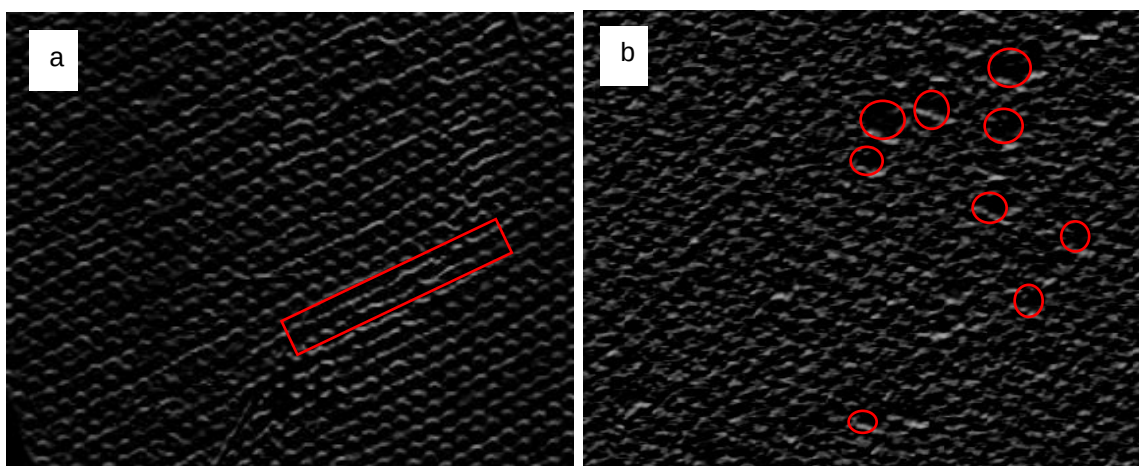


Figura 19: Resultados aplicación del filtro Sobel: a) filtro imagen 2009, b) filtro imagen 1999, c) unión entre palmas de la imagen 2009 y d) ubicación de palmas erradicadas.

8.7 Segmentación por Umbralización

Seguido del filtro Sobel se realizó el cálculo del umbral óptimo por el método de Otsu, los valores obtenidos para cada una de las escenas se muestran en la Tabla 4. En la figura 20 es posible observar división de las imagen en pequeñas regiones u objetos causados por la segmentación, además se observan objetos de tamaños muy pequeños y otros muy grandes, los cuales se interpretan como unión de palmas (los objetos grandes) y división de palmas (objetos pequeños), y corresponden a errores de la segmentación y deben remediarse lo más que se pueda debido a que estos alteran significativamente los resultados. En la imagen 20c la segmentación aun no logra distinguir o diferenciar cada uno de los elementos de la palma adulta por lo que se hace complicado el análisis de la división de los objetos.

Tabla 4: Valores de umbral óptimos obtenidos por el método de Otsu

Lotes	Umbral Optimo
1999	0.1255
2006	0.0706
2007	0.1804
2008	0.1176
2009	0.1373

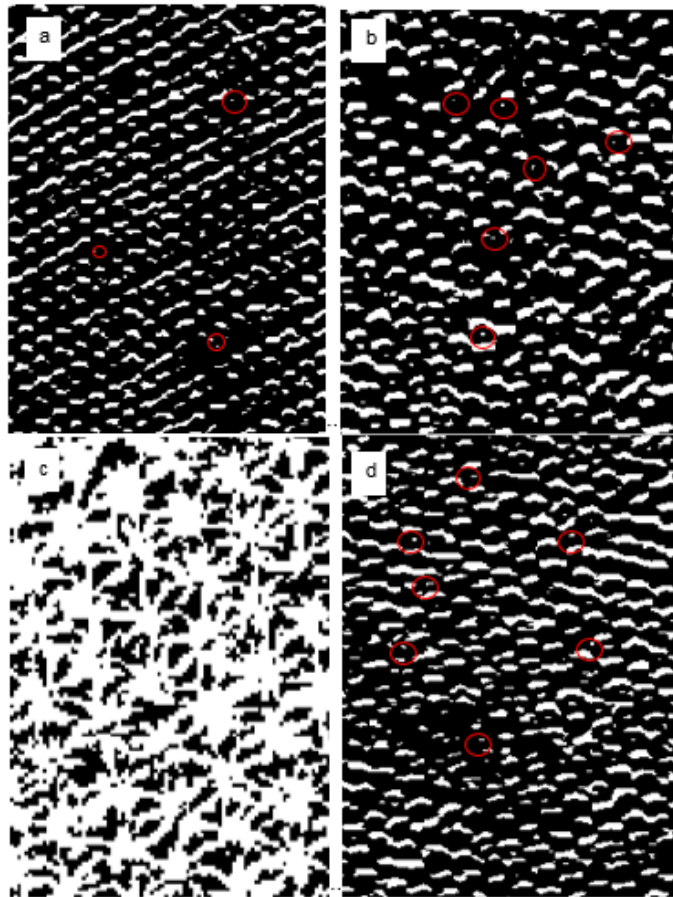


Figura 20: Resultados aplicación del método umbral a) Siembra 2009 b) Siembra 2008 c) siembra 1999 d) siembra 2007

8.8 Algoritmo Morfológico: Erosión

Seguido del cálculo de la segmentación se aplicó el algoritmo morfológico de erosión, en la Figura 21 cada uno de los objetos muestra una pequeña degradación es decir se han eliminado objetos muy pequeños y los que estaban muy grande presentan un tamaño menor, pero sin embargo este paso no es suficiente para la eliminación total de objetos pequeños que no representan una palma, ni para la división de objetos muy grandes, es tan solo un paso para acercarnos al objeto deseado.

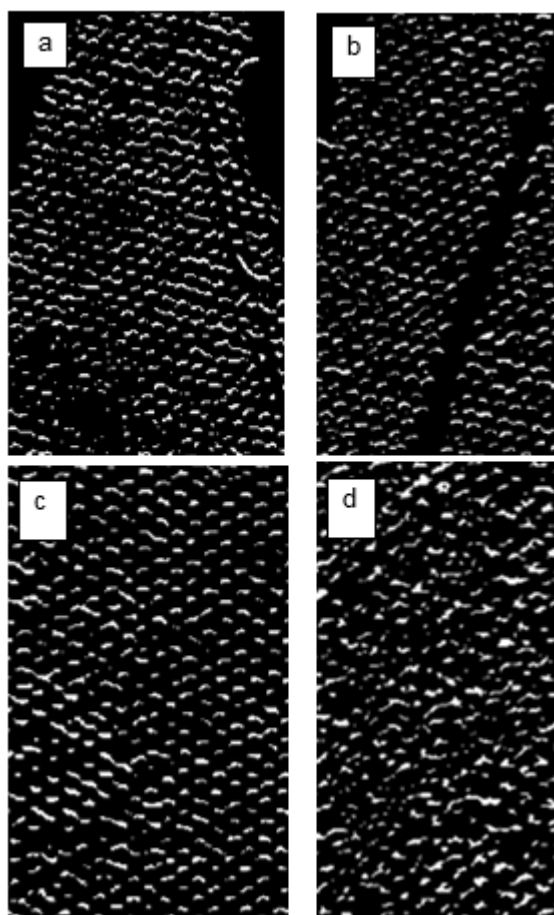


Figura 21: Resultados aplicación algoritmo erosión a) siembra 2008, b) siembra 2007, c) siembra 2009 y d) siembra 1999

8.9 Eliminación de objetos pequeños

Debido a los resultados obtenidos en los pasos anteriores unión de palmas o división en fragmentos muy pequeños. Se realizó la eliminación de los objetos con conectividad hasta de 8 píxeles el cual arrojó buenos resultados en las siembras 2009, 2008, 2007, 2006 en la figura 22 se muestran los resultados de la aplicación del algoritmo, donde se evidencia la disminución de objetos pequeños.

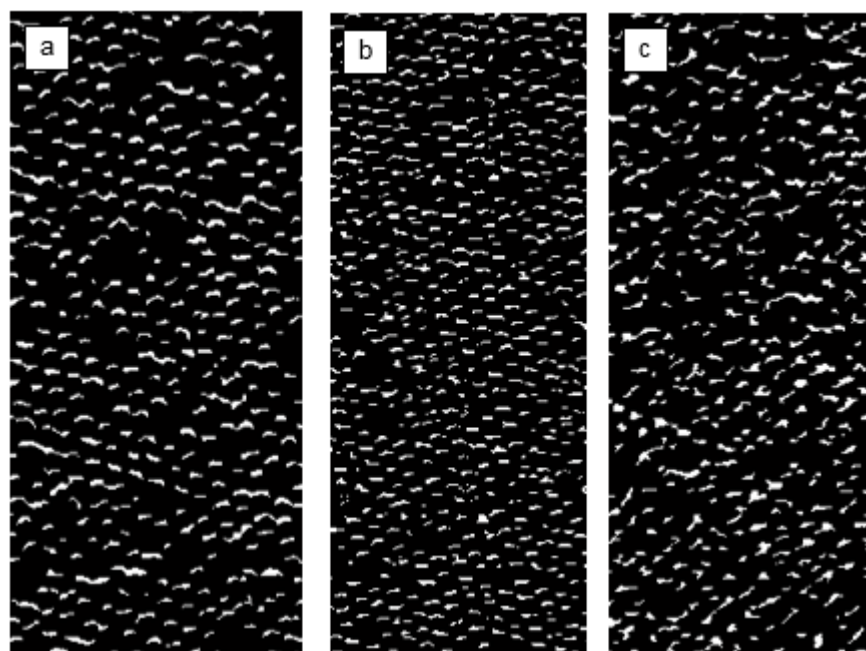


Figura 22: Resultados eliminación de objetos pequeños a) siembra 2008, b) siembra 2007, c) siembra 1999

Luego de eliminar los objetos pequeños en Matlab se procedió a exportar los objetos encontrados al Software Arcgis 10.1, inicialmente a la imagen obtenida en el cálculo de centroides, fue necesario georeferenciarla y reclasificarla, tomando como clases 1 y 0, con el fin de eliminar el fondo de la imagen y dejar los objetos encontrados (clase 1). El resultado se exportó a polígono, eliminando todos los valores encontrados en la clase cero (0) que representaban el fondo de la imagen para finalmente exportarlos a puntos.

Al exportar los resultados se originó una subdivisión de los objetos ya encontrados en Matlab, lo cual causó una alteración de los datos. En la Figura 23: Resultados obtención de centroides a) centroides obtenidos en Matlab, b) alteración de los datos en Arcgis, es posible analizar la comparación de los dos casos en la imagen a) se logra observar un objeto por cada centro de masa obtenidos mediante la utilización del algoritmo regionprops de Matlab, en la imagen b) se observa como un objeto es dividido en varios segmentos lo cual altera significativamente los datos obtenidos en Matlab.

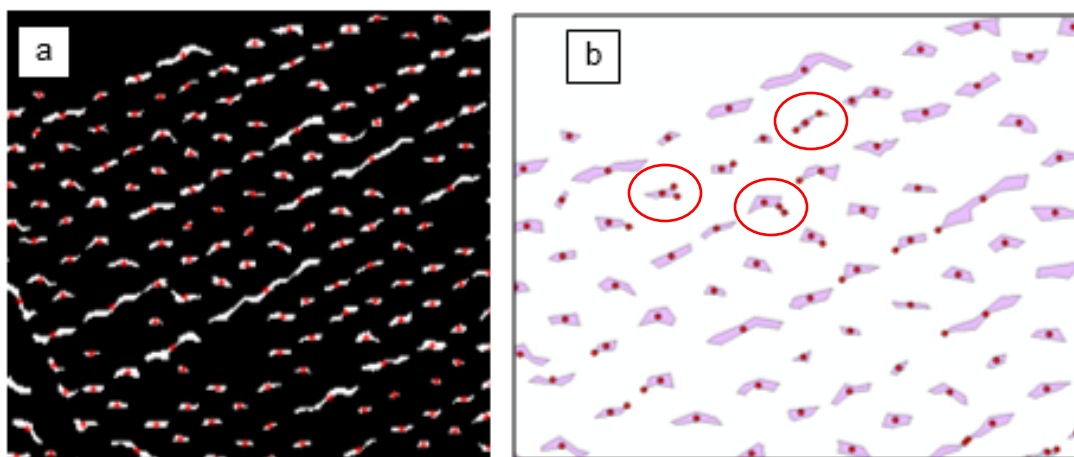


Figura 23: Resultados obtención de centroides a) centroides obtenidos en Matlab, b) alteración de los datos en Arcgis

Para resolver el inconveniente presentado, se planteó el cálculo del área para cada uno de los datos buscando eliminar los objetos con un área inferior a 2 m^2 y una área máxima 60 m^2 que no representan una palma. Este proceso se aplica a cada uno de los años de siembra trabajados.

Siembra 2009

Se calculó el área para los objetos de la imagen 2009, con el fin de poder identificar y responder la incognitas planteadas anteriormente, la Tabla 5 representa la agrupación de las áreas calculadas en metros cuadrados donde se analiza que el rango que va de $0\text{-}21 \text{ m}^2$ tiene una frecuencia del 97.3% de las áreas es decir 9338 datos se encuentran en este rango, el valor mínimo corresponde 0.175 m^2 , los valores que van desde 105 m^2 hasta 208.8 m^2 representan los valores máximos y se deben a bordes lineales resaltados y unidos durante el procesamiento los cuales se eliminaron.

Tabla 5: Estadística Descriptiva inicial de las áreas para siembra 2009

Rango (m^2)		Frecuencia de las áreas	Frecuencia relativa
0	21	9338	0,973
21	42	166	0,017
42	63	44	0,005
63	84	26	0,003
84	105	9	0,001
105	126	3	0,000
126	147	3	0,000
147	168	3	0,000
168	189	0	0,000

189	210	2	0,000
-----	-----	---	-------

En la Figura 24 se observa el histograma de la tabla de frecuencias de los datos anteriores, el rango mas alto representa los valores de 0-1.075 m².

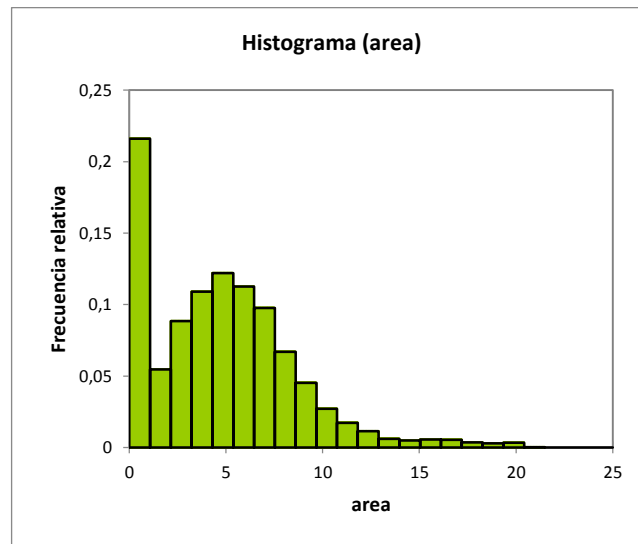


Figura 24: Histograma de las áreas para la siembra 2009

Se realizó una consulta en ArcGIS para observar los objetos que están dentro del rango de 0-1.075 m², se analiza que representan objetos muy pequeños los cuales no corresponden al área de una palma y por tal motivo se eliminaron (Figura 25).

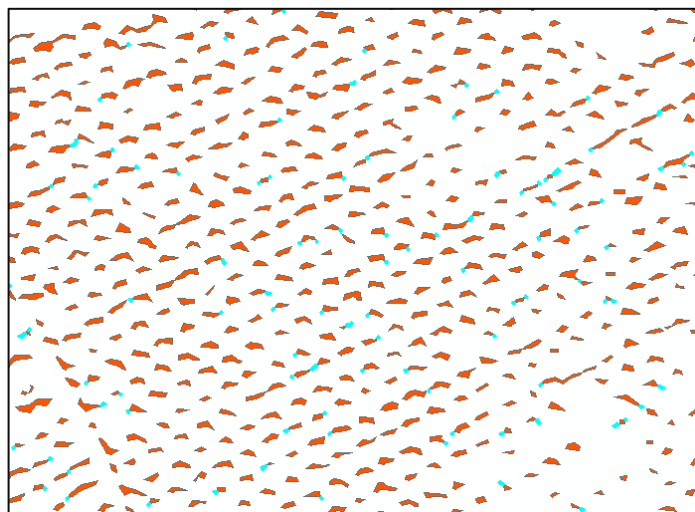


Figura 25: Rango de datos de 0-1.075 m² (objetos color cian) siembra 2009

Siembra 2008

Igual que en el año de siembra 2009, se calculó el área de los objetos y se procedió a la generación de rangos de información con el fin de agrupar datos, se realizaron varios cálculos que permitieron enfocarse en un grupo de información específico. En la Tabla 6: Estadística Descriptiva de las áreas para siembra 2008 se observa el resultado de varias interacciones con los datos donde muestra que el 63.3% de las áreas, se encuentran en el rango de datos de 0-0.8917 m² el cual se toma como valor mínimo para eliminar los objetos que estén en este rango de datos.

Tabla 6: Estadística Descriptiva de las áreas para siembra 2008

Rango (m ²)		Frecuencia de las áreas	Frecuencia relativa
0	0,8917811	7493	0,633
0,8917811	1,78356219	1588	0,134
1,78356219	2,67534329	2762	0,233

En la Figura 26 se observa la distribución de este nuevo grupo de datos seleccionados.

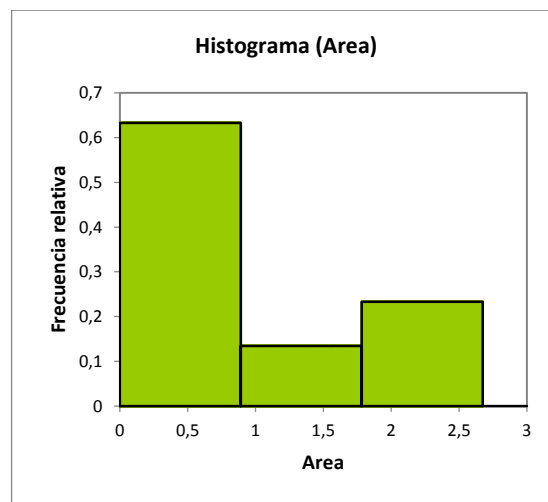


Figura 26: Histograma de las áreas para el año de siembra 2008

Una vez realizada la consulta con el umbral establecido se observa en la Figura 27 los objetos con un área menor o igual a 0.89 m² corresponden a los datos que se eliminaron por su tamaño.

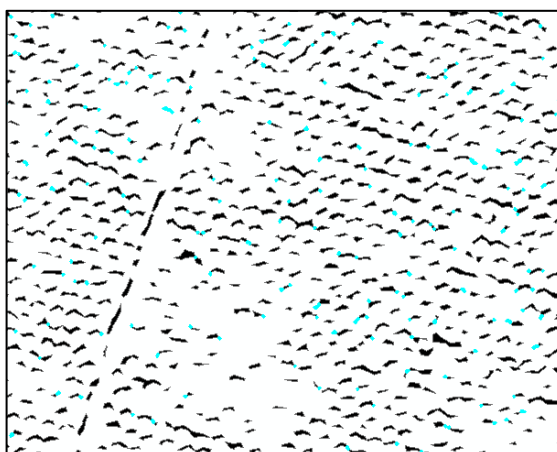


Figura 27: Rango de datos de 0-0.89 m² (objetos color cian) siembra 2008

Finalmente se eliminaron los objetos con un área entre 0-0.89 m² y 100-1000 m².

Siembra 2007

Se realizó el procedimiento mencionado en los años de siembra anteriores, en esta siembra se empezó a evidenciar el aumento de los datos es decir que el cultivo a mayor edad se genera mas segmentos u objetos, debido a esto se hicieron varias agrupaciones de los datos para tener un resultado preliminar que lo muestra la Tabla 7 donde el valor a eliminar de la base de datos corresponde al rango de 0-0.746 m² con 10615 datos representa el 75% de los registros.

Tabla 7: Estadística Descriptiva preliminar de las áreas para siembra 2007

Rango (m ²)		Frecuencia de las áreas	Frecuencia relativa
0	0,74639746	10615	0,759
0,74639746	1,49279492	1329	0,095
1,49279492	2,23919238	2050	0,146

El histograma de la Figura 28, evidencia la distribucion de este último grupo de datos donde se eliminaron los objetos que están entre 0-0.746 m² y 95.6-848 m².

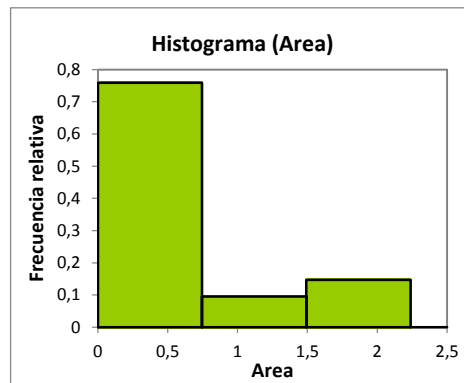


Figura 28: Histograma de los datos seleccionados para la siembra 2007

Siembra 2006

Despues de haber realizado varias agrupaciones con los datos se tiene una tabla de frecuencias preliminar donde se agrupan el 58% de los datos en un rango de 0-3.34 m² como se observa en la Tabla 8: Estadística Descriptiva preliminar de las áreas para siembra 2006, estos analisis de agrupacion de datos se realizan para observar la tendencia de la informacion. Se eliminaron los valores que están entre 0-1.376 m² y 65-650 m².

Tabla 8: Estadística Descriptiva preliminar de las áreas para siembra 2006

Rango (m ²)		Frecuencia de las áreas	Frecuencia relativa
0	0,68839128	4218	0,316
0,68839128	1,37678255	3016	0,226
1,37678255	2,06517383	3205	0,240
2,06517383	2,75356511	1708	0,128
2,75356511	3,44195638	1186	0,089

La Figura 29 muestra el histograma de la frecuencia de los datos dentro de la muestra.

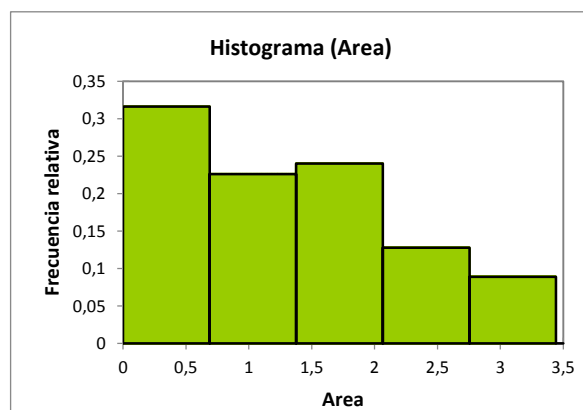


Figura 29: Histograma de los datos seleccionados para la siembra 2006

Siembra 1999

En la siembra adulta la imagen tiende a dividirse en multiples partes donde el total de datos son 48633. Durante la agrupación de datos se estableció un rango que va desde 0-1.52 m² Tabla 9: Estadística Descriptiva de las áreas para siembra 1999, analizando los otros valores establecidos en las agrupaciones anteriores este representa el valor mas alto, debido a que hay un alto porcentaje de los datos que estan en este rango y que por el tamaño del área no representa una palma, se eliminaron valores entre 0-1.52 m² y 60-3100 m².

Tabla 9: Estadística Descriptiva de las áreas para siembra 1999

Rango (m ²)		Frecuencia de las áreas	Frecuencia relativa
0	1,52104158	15758	0,395
1,52104158	3,04208316	8930	0,224
3,04208316	4,56312474	6181	0,155
4,56312474	6,08416632	5061	0,127
6,08416632	7,6052079	3939	0,099

En el siguiente histograma de la Figura 30 se observa la distribución de la información en la última agrupación generada.

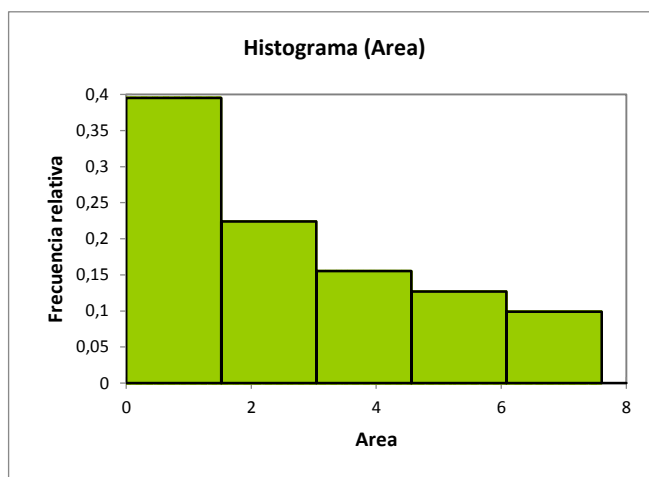


Figura 30: Histograma de los datos seleccionados para la siembra 1999

9. VALIDACIÓN

Existen pocos estudios enfocados en la generación de algoritmos para los inventarios en cultivos de palma de aceite a través de sensores remotos, la metodología utilizada se generó a partir de varias investigaciones utilizados en diferentes tipos de coberturas. A continuación se muestra la validación generada para el algoritmo planteado en el cual se destaca la cantidad de palmas detectadas por el algoritmo teniendo en cuenta el área de influencia debido a que las palmas del inventario georeferenciado suministrado por la plantación presentan ciertas variaciones en su ubicación, además Moller et al, (2007) lo planteó como método de evaluación de la segmentación.

Siembra 2009

La Tabla 10, muestra los resultados obtenidos mediante la aplicación del algoritmo. Se utilizó un buffer o área de influencia de 3 metros donde el 40.4% de las palmas están ubicadas en el área permitida del lote 2009-2, el 67.4% en el lote 2009-03, 52.8% en el 2009-04 y 52.6% en el lote 2009-05.

Tabla 10: Cantidad de palmas detectadas por algoritmo siembra 2009.

Lotes	Densidad/ Hectáreas	Número de Palmas Digitalizadas	Total de Palmas detectadas Algoritmo	Total Palmas Algoritmo Buffer 3m	Porcentaje de Exactitud (%)
2009-02	170	2205	2070	891	40,41
2009-03	171	1380	1227	930	67,39
2009-04	143	3127	2197	1651	52,80

2009-05	143	2616	1999	1376	52,60
---------	-----	------	------	------	-------

En la Figura 31: Resultados aplicación de algoritmo siembra 2009, se visualiza el resultado obtenido en los lotes 2009-4 y 2009-5 donde los recuadros naranjas muestran las áreas donde el código omitió un alto porcentaje de palmas, se evidencia un cambio de tonalidad el cual se debe al tipo de suelo de esta zona donde según miembros de la plantación corresponden a suelos salinos.

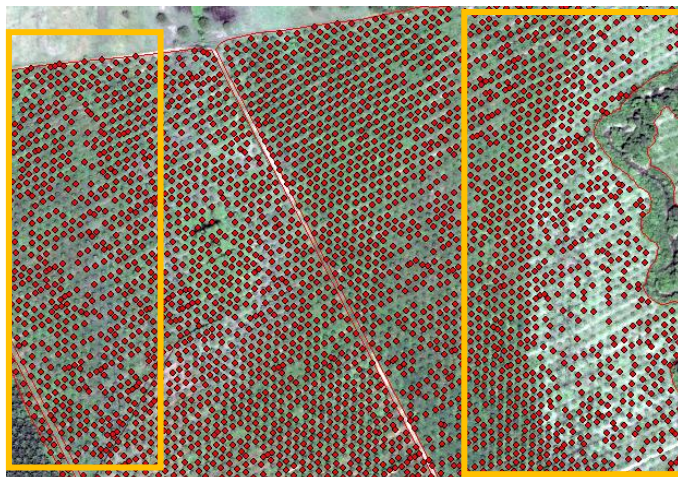


Figura 31: Resultados aplicación de algoritmo siembra 2009

Haciendo un análisis de los resultados obtenidos el lote que presenta un menor porcentaje de exactitud en la ubicación de las palmas es el lote 2009-2 donde los puntos de color naranja representan las palmas que fueron ubicadas en el área de influencia de 3m, los círculos verdes corresponden a palmas que fueron detectadas por el algoritmo pero no se encuentran dentro del área de influencia de la palma es decir que se encuentran con un desplazamiento superior a 3 metros (Figura 32).

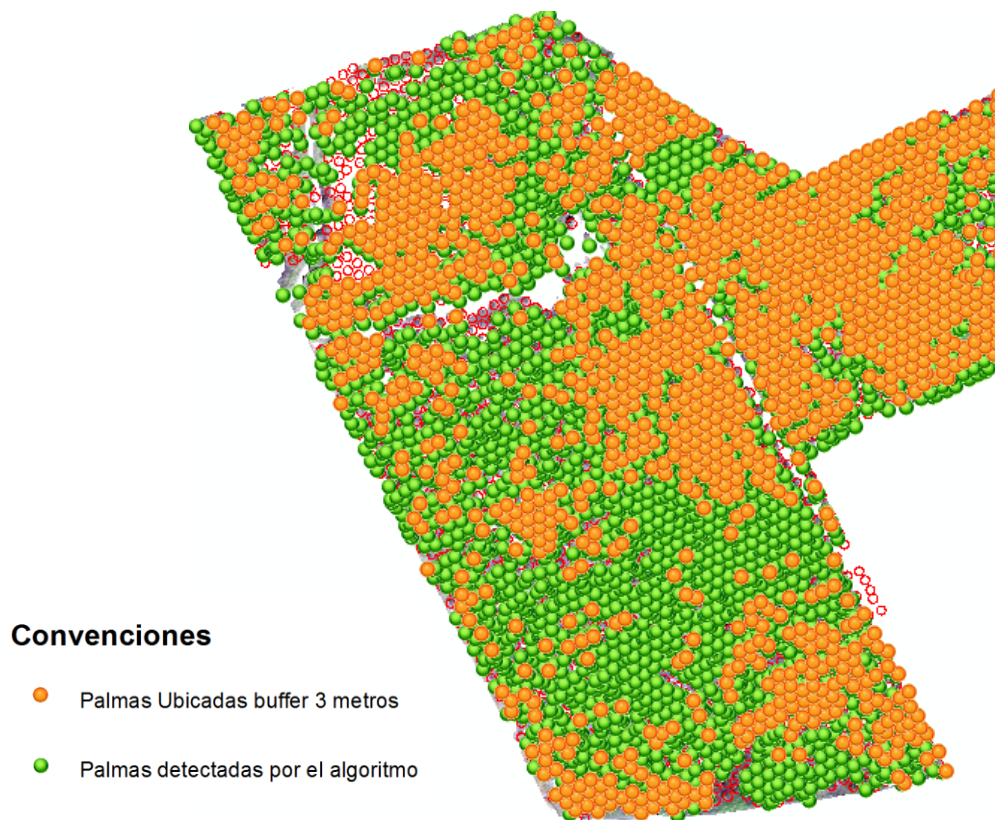


Figura 32: Ubicación de las palmas detectadas por el algoritmo para la siembra 2009
En la imagen original para este año de siembra se encuentra varias zonas con un cambio de tonalidad y de tamaño de la palma, donde el código presentó deficiencia en la detección de las palmas. En Figura 33 se encuentran seleccionadas las áreas más grandes con esta característica.

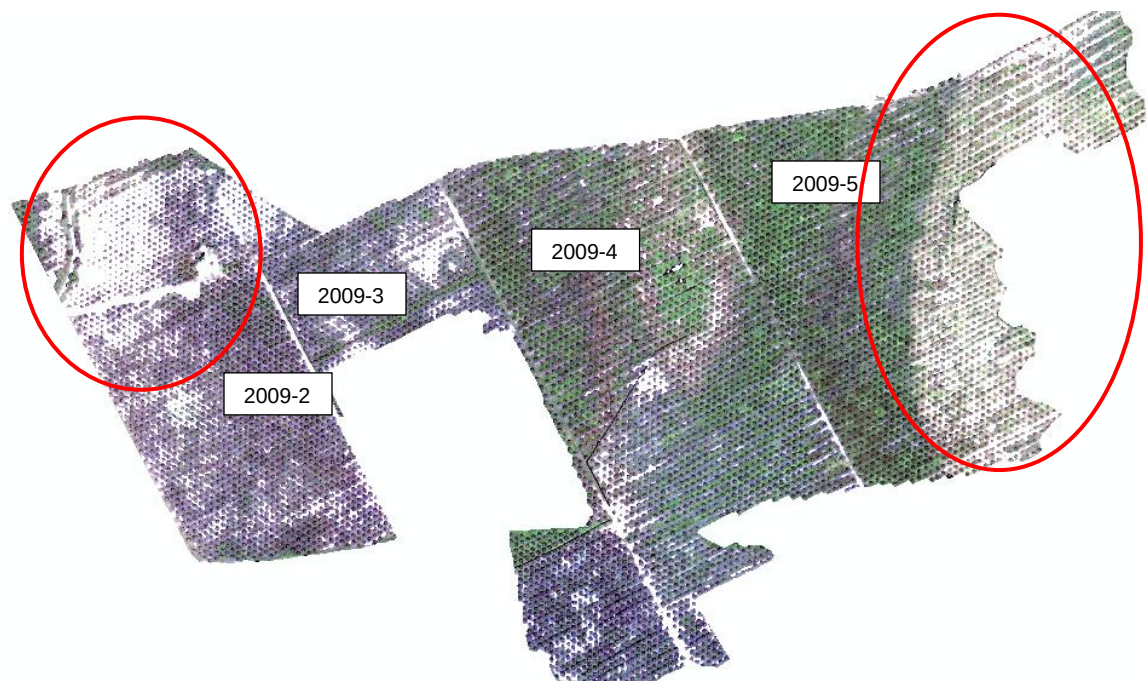


Figura 33: Imagen Original siembra 2009

Siembra 2008

Para la siembra 2008 se utilizó el área de influencia o buffer de 3.5 metros. En la Tabla 11 se encuentra el porcentaje de exactitud hallado para el área seleccionada los valores varían entre el 41.49% y 83.22% de palmas ubicadas de forma correcta.

Tabla 11: Cantidad de palmas detectadas por algoritmo 2008

Lotes	Densidad/ Hectáreas	Número de Palmas Digitalizadas	Total de Palmas detectadas Algoritmo	Total Palmas Algoritmo Buffer 3.5 m	Porcentaje de Exactitud (%)
2008-01	170	3216	2823	2453	76,27
2008-03	170	3685	3196	1529	41,49
2008-04	170	3992	3706	1959	49,07
2008-05	170	1368	1215	1060	77,49
2008-06	170	3200	3044	2663	83,22
2008-07	170	4728	4010	3556	75,21
2008-08	143	7361	6730	3920	53,25

En la Figura 34 se observa los resultados del algoritmo en la siembra 2008 se observan grupos de palmas los cuales presentan una tonalidad un poco más oscura y tamaño de palma diferente al resto de las áreas del lote, las palmas de esas zonas no fueron identificadas.



Figura 34: Resultados aplicación de algoritmo siembra 2008

Analizando en detalle el lote 2008-3 que presenta el porcentaje más bajo en la ubicación de las palmas 41.49%, se evidencia varias zonas o grupos de palmas con unas condiciones diferentes a las del resto del cultivo.

La Figura 35 representa la ubicación de las palmas lote 2008-03; en la imagen a) los puntos de color naranja corresponde a las palmas con una posición aceptable dentro del estudio, los puntos de color verde corresponde a palmas detectadas por el algoritmo pero no se encuentran en la posición correcta, la imagen b muestra las condiciones específicas del lote donde los círculos de color rojo muestran franjas más oscuras, que representan desarrollo diferente de la palma.

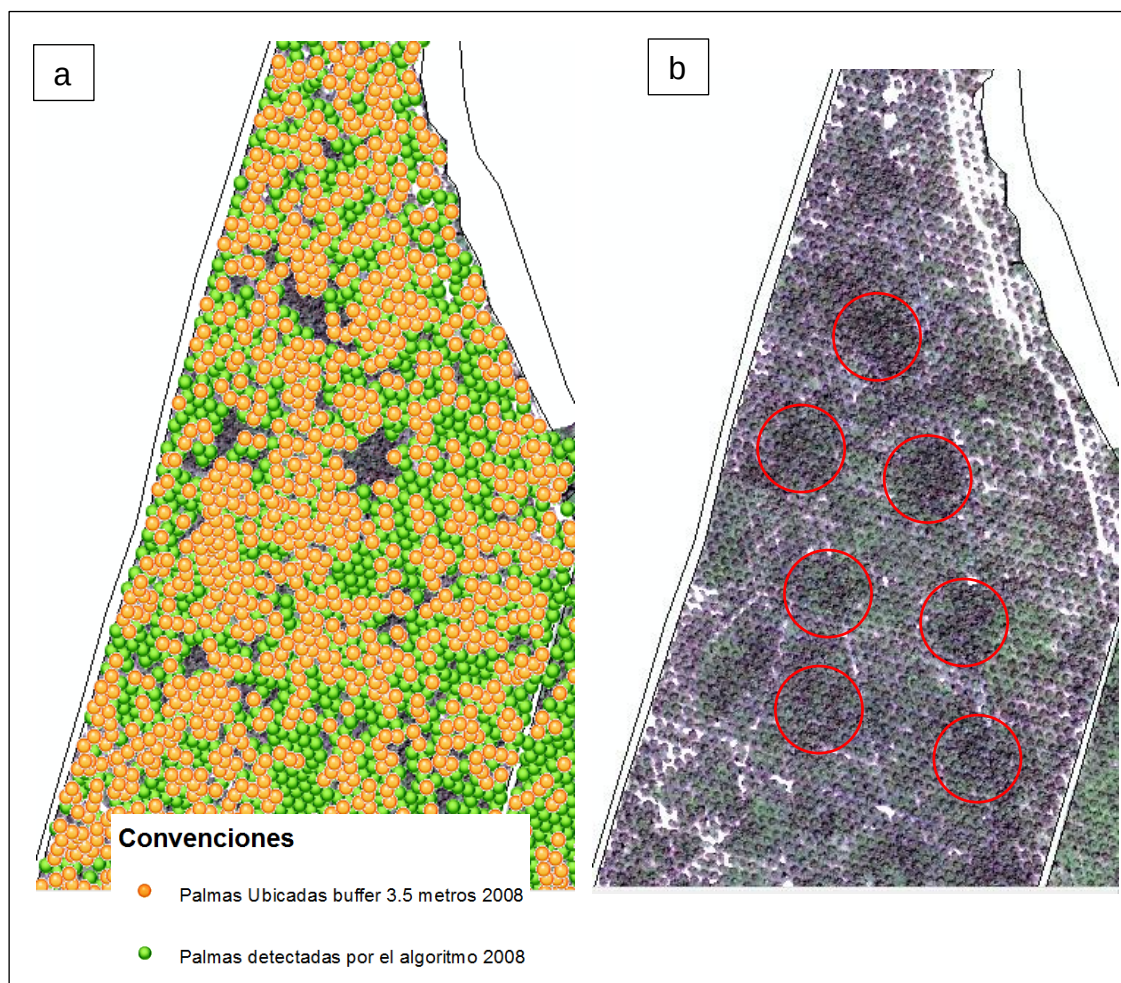


Figura 35: Código en el lote 2008-3; a) Ubicación de las palmas detectadas por el algoritmo, b) Franjas del lote con condiciones diferentes

Siembra 2007

Se trabajó con un área de influencia de 3.5 metros, la selección de los objetos que están dentro del área escogida se encuentra reflejada en la Tabla 12 donde el porcentaje de exactitud va desde 53.57% a 89.61%.

Tabla 12: Cantidad de palmas detectadas por algoritmo 2007

Lotes	Densidad/ Hectáreas	Número de Palmas Digitalizadas	Total de Palmas detectadas Algoritmo	Total Palmas Algoritmo Buffer 3.5 m	Porcentaje de Exactitud (%)
2007-01	170	2131	2084	1403	65,84
2007-02	170	5268	5110	2822	53,57
2007-03	170	3960	3759	2802	70,76

2007-04	170	2421	2322	2003	82,73
2007-05	170	1429	1299	1219	85,30
2007-06	143	5863	5694	4853	82,77
2007-07	143	5907	5699	5293	89,61
2007-08	170	6733	5989	5688	84,48
2007-09	170	6257	5824	3831	61,23

La Figura 36 muestra los resultados del algoritmo en el lote 2007-08 se observa pequeñas zonas en donde no se detectaron palmas, el cual tiene unas condiciones diferentes a las del resto del lote.

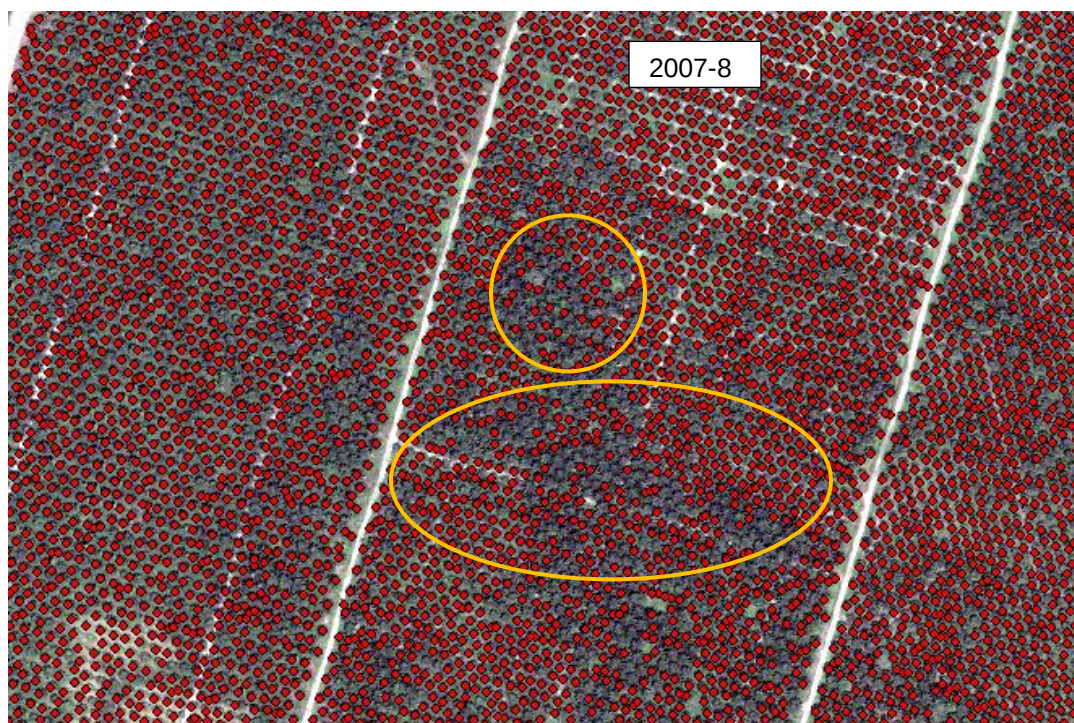


Figura 36: Resultados aplicación de algoritmo siembra 2007

En la Figura 37 se hace énfasis en el lote 2007-2 donde los puntos naranjas corresponden a palmas ubicadas dentro del área de influencia y los puntos verdes representan las palmas que fueron detectadas por el algoritmo pero su ubicación se encuentra desplazada.

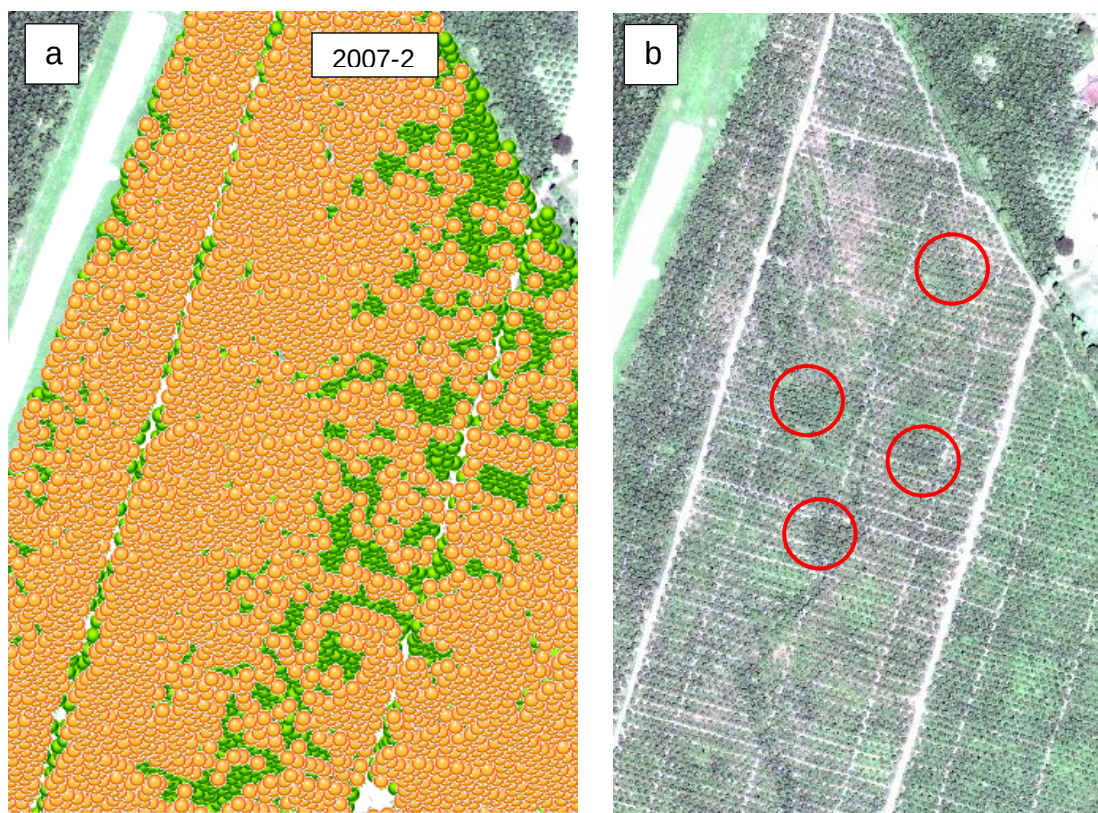


Figura 37: Código en el lote 2007-2; a) Ubicación de las palmas detectadas por el algoritmo, b) Franjas del lote con condiciones diferentes

Siembra 2006

Se trabajó con el área de influencia de 4 metros, en la Tabla 13 se encuentran los resultados donde el porcentaje de exactitud de acuerdo al área seleccionada se están entre 64.92% y 77.78%, la columna total palmas detectadas por el algoritmo en algunos lotes presenta una cantidad superior al número de palmas digitalizadas. En este año de siembra no es posible observar la distancia de siembra entre cada palma, por el cierre de calles del cultivo, las palmas tienden hacer un poco más oscuras en comparación con los años de siembra anteriores lo cual generó una sobre-segmentación de la imagen.

Tabla 13: Cantidad de palmas detectadas por algoritmo 2006

Lotes	Densidad/ Hectáreas	Número de Palmas Digitalizadas	Total de Palmas detectadas Algoritmo	Total Palmas Algoritmo Buffer 4 m	Porcentaje de Exactitud (%)
2006-02	170	5160	5128	3831	74,24
2006-03	170	935	1014	607	64,92

2006-04	170	5566	5693	4188	75,24
2006-05	170	2565	2573	1995	77,78
2006-06	170	1014	814	778	76,73

La Figura 38 muestra los resultados obtenidos con el algoritmo, en este año de siembra no se observa las grandes zonas con tonalidad más oscura como se registraban en los años de siembra anteriores, los grupos donde no detectó presencia de palmas son más pequeños.



Figura 38: Resultados aplicación de algoritmo siembra 2006

La Figura 39 representa el código en el lote 2006-2, la imagen a) los puntos naranjas corresponden a las palmas ubicadas en el área aceptada de 4 metros, los puntos verdes son objetos detectados con un desplazamiento superior al permitido, la imagen b) muestra la sobre-segmentación generada, donde se observa varios puntos naranjas dentro de los círculo de color rojo (área de influencia).

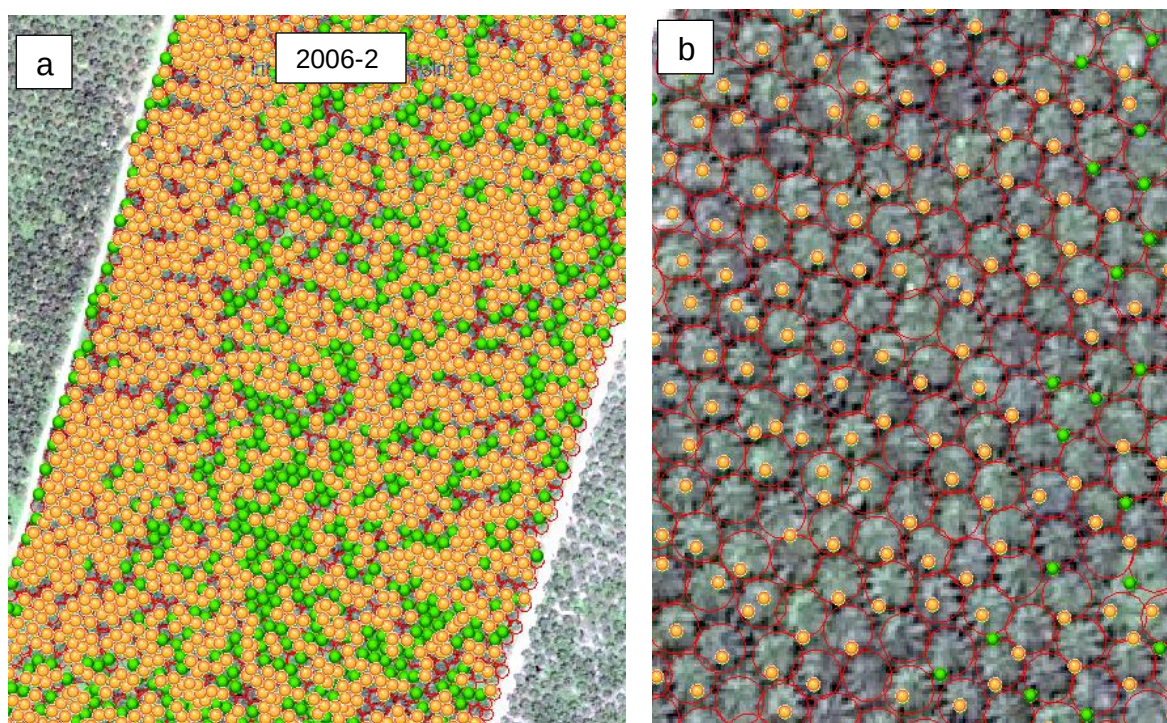


Figura 39: Código en el lote 2006-2; a) Ubicación de las palmas detectadas por el algoritmo, b) Sobre-segmentación de los objetos.

Siembra 1999

El área de influencia utilizada fue de 4 metros, en la Tabla 14 se encuentran los resultados donde el porcentaje de exactitud de acuerdo al área seleccionada arrojó valores por encima de los permitidos debido por la sobre-segmentación generada. La columna total palmas detectadas por el algoritmo mostró un alto número de objetos los cuales comparados con la cantidad de palmas digitalizadas no corresponden a un dato por palma. Al igual que el año de siembra 2006 no es posible observar la distancia de siembra entre cada palma y las palmas por el estado fenológico son más oscuras.

Tabla 14: Cantidad de palmas detectadas por algoritmo 1999

Lotes	Densidad/ Hectáreas	Número de Palmas Digitalizadas	Total de Palmas detectadas Algoritmo	Total Palmas Algoritmo Buffer 4 m	Porcentaje de Exactitud (%)
1999-01	143	1187	1391	1518	127,885425
1999-02	143	1674	1858	2067	123,476703
1999-03	143	2189	2505	2487	113,613522

1999-04	143	2851	3278	3174	111,329358
1999-05	143	3945	4386	4536	114,980989
1999-06	143	3654	4097	4164	113,957307
1999-07	143	3774	3941	4038	106,995231
1999-08	143	3603	4140	4445	123,369414
1999-09	143	4006	4091	4848	121,018472
1999-10	143	3886	3999	4658	119,866186

La Figura 40 muestra los resultados del código en este año de siembra, donde al igual que en la siembra 2006 no se observan las grandes áreas de omisión de información, en este caso la omisión se hace de forma parcial en todos los lotes.



Figura 40: Resultados aplicación de algoritmo siembra 1999

La Figura 41 muestra el resultado de la validación en la siembra 1999; la imagen a) los puntos naranjas corresponde a las objetos con una ubicación dentro del área permitida, los puntos de color verde representa los objetos por fuera del área de interés, la imagen b) muestra la sobre-segmentación generada en la palma adulta, donde se observan dentro del área de influencia más de un punto por palma.

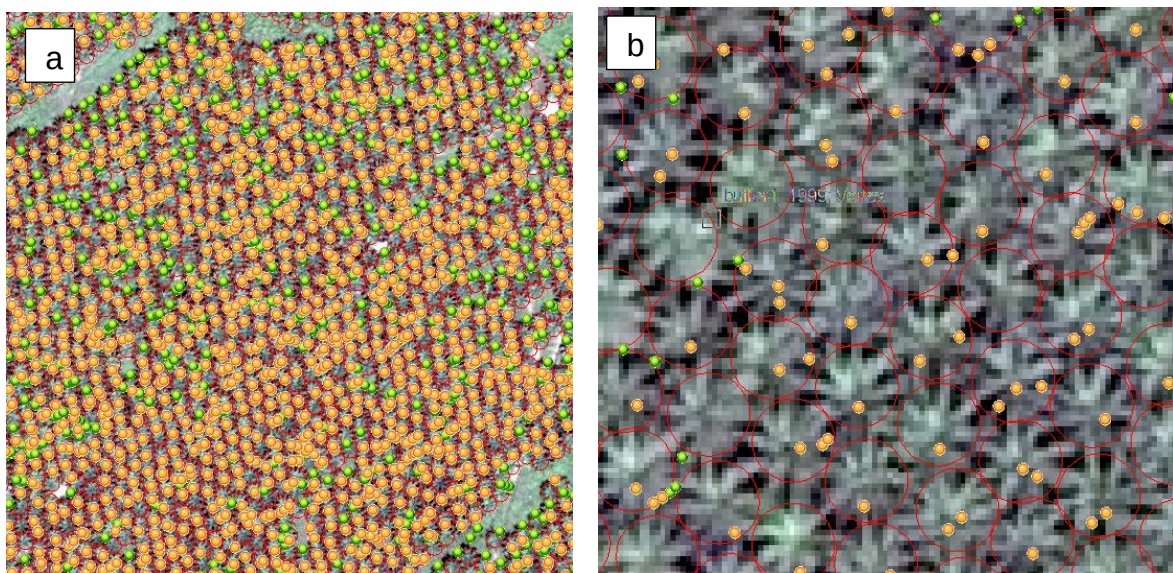


Figura 41: Código siembra 1999; a) Ubicación de las palmas detectadas por el algoritmo, b) Sobre-segmentación de la imagen

10. DISCUSIÓN

A nivel mundial se han desarrollado una serie de metodología para la identificación, extracción de objetos a partir de una imagen digital. Este algoritmo se constituyó con una serie de aportes de diferentes investigaciones consultadas. Sin embargo, existen marcadas diferencias con las condiciones en las que se desarrolla el cultivo como los es el tipo de suelo, distancia entre palmas, el clima, así como el objetivo de obtener cada palma georeferenciada para el desarrollo de un Sistema de Información Geográfico (SIG).

En relación a los procesos desarrollados en la metodología se utilizó el índice de vegetación NDVI como mascara para la eliminación de áreas que no corresponden al cultivo de palma, al igual que Chemura (2012), Srestasathiern & Rakwatin, (2014), por su parte Korom et al., (2012) lo acompañó con otros índices de vegetación como el índice de vegetación diferencial y el índice de infrarrojo de diferencia normalizada.

Los filtros juegan un papel muy importante dentro del procesamiento de este tipo de proyectos en este estudio se realizó la combinación de filtro paso bajo Gaussiano (para suavizar ciertas frecuencias) y el paso alto Sobel (para resaltar bordes), algunos autores realizan la separación de los filtros como (Srestasathiern

& Rakwatin, 2014) que utilizó el filtro Gaussiano, Chemura (2012) que utilizó filtro mediana y Shafri et al.,(2011) utilizó filtro paso alto Sobel.

Uno de los procesos más importantes y de mayor cuidado es la segmentación, en este trabajo se utilizó segmentación por el método del Umbral al igual que otros autores como Shafri et al.,(2011) a diferencia de Korom et al., (2012) que utilizó segmentación Watershed y Chemura (2012) segmentación multiresolución.

Los resultados obtenidos con la aplicación de este código arrojaron un porcentaje que va del 40% al 89% de palmas localizadas dentro de un área de influencia teniendo en cuenta las siembras 2009, 2008, 2007 para las palmas adultas 1999 y 2006 se generó una sobre-segmentación de la imagen lo que generó una alteración significativa de los datos. Korom et al., (2012) logró disminuir significativamente la sobre-segmentación en palma adulta utilizando otros índices de vegetación (NDVI, NDII, DVI) que incluyen la banda Red Edge del satélite WorldView-2 al igual que Chemura (2012) obtuvo una precisión de 89% aplicado en palma joven pero con la utilización del NDVI y reemplazando la banda NIR por la Red Edge.

11.CONCLUSIONES

Para obtener resultados favorables en el proceso de segmentación debe existir una buena eliminación de todos los objetos que no son palmas (sombras, suelo desnudo, pastos entre otros), por consiguiente la aplicación del índice de vegetación y su posterior enmascaramiento del rango de 0-0.58 resultan insuficiente para la siembra 2006 y 1999, lo cual se reflejó en los resultados.

Después de analizar los resultados del algoritmo se encontró que el valor más bajo de exactitud se presentó en el lote 2009-2 con el 40.41% de los datos ubicados dentro del área de influencia permitida, estos resultados se deben a grandes franjas de suelos salinos presentes en el lote. Los mejores resultados se presentaron en la siembra 2007 con un porcentaje del 89.61% de palmas ubicadas dentro del área de influencia permitida, los lotes 2007 presentan mayor homogeneidad en desarrollo del cultivo. Por tal motivo se concluye que cuando existe un desarrollo homogéneo en palma joven los resultados tienden a ser mejores.

En cuanto al procedimiento se debe separar la metodología de palma adulta respecto a la palma pequeña, por los altos índices de sobre-segmentación (127%)

presentado en las siembras 1999 y 2006, para concentrar el código en los problemas de cada año de siembra.

La validación no se realizó por la coordenada exacta del centro de la palma debido a que la base digitalizada de la plantación presenta variaciones en la ubicación.

12. BIBLIOGRAFÍA

Aldalur, B., & Santamaría, M. (2002). Realce de Imágenes: Filtrado espacial. Revista de Teledetección, 31-42.

Anane, M., Casterad, M., & Herrero, J. (2001). Las Superficies arroceras de Huesca en 1991 y 1996 estudiadas con una imagen anual Landsat TM. Revista de Teledeteccion, 5-9.

Calot, E., Merlino, H., Britos, P., & Garcia, R. (2008). Clasificación de tumores en mamografías mediante uso combinado de RBP y filtros Sobel. Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. ITBA, 1-5.

Canada Centre for Remote Sensing;. (2006). Natural Resources Canada. Obtenido de http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf

Casterad , M., Lopez, R., & Acevedo, A. (2005). Uso de técnicas SIG y teledetección en el seguimiento del cultivo de viña. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, 691-697.

Cattaneo, C., Larcher, L., Ruggeri, A., Herrera, A., Biasoni, E., & Escañuelas, M. (2010). Segmentación de imágenes digitales mediante umbralizacion adaptivo en imágenes a color. Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 6177-6193.

Cenipalma. (2012). Catálogo de objetos para el sector palmicultor. Bogotá D.C.: Cenipalma.

- Chakraborty , M., & Panigrahy, S. (2000). A processing and software system for rice crop inventory using multi-date RADARSAT ScanSAR data. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 119-128.
- Chander, G., Markham, B., & Helder, D. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM,ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, 893-903.
- Chemura, A. (Marzo de 2012). Determining oil palm age from high resolution satellite imagery. En U. d. Twente, Determining oil palm age from high resolution satellite imagery (pág. 87).
- Chuvieco , E. (2008). Teledeteccion Ambiental. Barcelona España: Ariel.
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de Teledeteccion Espacial. Madrid: Ediciones Rialp.
- Coto, E. (2003). Métodos de Segmentación de Imágenes Médicas. Caracas Venezuela: Laboratorio de Computación Gráfica. Universidad Central de Venezuela.
- Culvenor, D. (2002). TIDA: an algorithm for the delineation of tree crowns in high spatial resolution remotely sensed imagery. Computer & Geosciences, 33-44.
- Fedepalma. (2012). Anuario Estadístico. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo 2007-2011. Bogotá D.C: Fedepalma.
- Fedepalma. (2014). La Palma de aceite.com por Fedepalma. Obtenido de <http://www.palmadeaceite.org/>
- Fedepalma, & Bernal, F. (2001). El cultivo de la palma de aceite y su beneficio. Bogotá D.C.: Fedepalma.

- Franco Bautista, P. (2010). Contexto y sostenibilidad de la agroindustria en la palma de aceite. Bogota: Convenio de Asociacion entre Fedepalma, Uniminuto, Unad, Udenar y otros.
- Gonzalez, M. (2008). Segmentación morfológica watershed en imágenes medicas: Métodos de selección de marcadores. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Mar de Plata.
- Gonzalez, R., & Woods, R. (2002). Digital Image Processing. New Jersey: Prentice Hall.
- Govaerts, B., Verhulst, N., & Fuentes Ponce, M. (2010). Sensor portátil GreenSeekerTM para la medición del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI): Una herramienta para la evaluación integral de las prácticas agronómicas. México, México: CIMMYT.
- H.C. Ng, P. (2013). La Teleobservación y las tecnologías digitales para el manejo de las plantaciones. Palmas, 259-279.
- Jing, L., Hu, B., Noland, T., & Li, J. (2012). An individual tree crown delineation method based on multi-scale segmentation of imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 88-98.
- Korom, A., Phua, M.-H., Hirata, Y., & Matsuura, T. (2012). Individual delineation of oil palm tree using Worldview-2 satellite image. The 33 Asian Conference on Remote Sensing, 1-13.
- La Serna, N., & Roman, U. (2009). Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes. Ingeniería de Sistemas e Informática-Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 9-16.
- Lira Chavez, J. (2010). Tratamiento digital de imágenes multiespectrales. Mexico D.F.: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.

- Moller, M., Lymburner, L., & Volk, M. (2007). The comparison index: A tool for assessing the accuracy of image segmentation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 311-321.
- Montaner, D. (2006). Segmentación Automática de Copas de Árboles en Plantaciones de *Pinus Radiata* (D. Don) usando Fotografías Aéreas Digitales. Tesis de Grado. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Mora, B., Wulder, M., & White, J. (2010). Segment-constrained regression tree estimation of forest stand height from very high spatial resolution panchromatic imagery over a boreal environment. *Remote Sensing of Environment*, 2474-2484.
- Navarro, J. (01 de 04 de 2010). Fotografía Infrarroja. Obtenido de <http://luminousphoto.blogspot.com/2010/04/fotografia-infrarroja-articulo.html>
- Ortiz, G. (Mayo de 2002). Procesamiento Morfológico de imágenes en Color: Aplicación a la Reconstrucción Geodésica. Tesis Doctoral. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Ozdemir, I., & Karnieli, A. (2011). Predicting forest structural parameters using the image texture derived from WorldView-2 multispectral imagery in a dryland forest, Israel. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 701-710.
- Platero Dueñas, C. (2009). Apuntes de Vision Artificial. Capítulo 5: Segmentación. Recuperado el 21 de 11 de 2014, de Dpto. Electrónica, Automática e Informática Industrial. Universidad Politécnica de Madrid: http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP_VisionArtificial/ApuntesVA/cap5VASegmentacion.pdf
- Platero Dueñas, C. (2009). Apuntes de Vision Artificial. Capítulo 6: Procesamiento morfológico. Recuperado el 21 de 11 de 2014, de Dpto. Electrónica,

Automática e Informatica Industril. Universidad Politecnica de Madrid:
http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP_VisionArtificial/APuntesVA/cap6VAProcMorf.pdf

- Pu, R., & Landry, S. (2012). A comparative analysis of high spatial resolution IKONOS and WorldView-2 imagery for mapping urban tree species. *Remote Sensing of Environment*, 516-533.
- Richards, J., & Jia, X. (1999). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. New York: Springer.
- Rincón Romero, V. (16 de Agosto de 2012). Sistema de información geográfica para el manejo agronomico en el cultivo de la palma de aceite. Area de Geomatica-Reporte de Investigacion. Barrancabermeja, Santander, Colombia: Cenipalma.
- Shafri, H., Nasrulhapiza, H., & Saripan, &. (2011). Semi-automatic detection and counting of oil palm trees from high spatial resolution airborne imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2095-2115.
- Sobrino, J. (2001). *Teledeteccion*. Valencia España: Universidad de Valencia.
- Srestasathiern, P., & Rakwatin, P. (2014). Oil palm tree detection with high resolution multi-spectral satellite imagery. *Remote Sensing*, 9749-9774.
- Sucar, L., & Gómez, G. (2011). *Visión Computacional*. Puebla, Mexico: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
- Updike, T., & Comp, C. (2010). *Radiometric use of WorldView-2 Imagery*. DigitalGlobe.
- Volante, J., Campos, C., Noé, Y., & Elena, H. (2007). Método de Clasificación <Por-parcela> para la Detección de Cultivos: Aplicación al Área Agrícola de Las Lajitas (Salta, Argentina), Campaña Agrícola de Invierno 2006.

Teledetección-Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional, 978-987.

Walter, V. (2004). Object-based classification of remote sensing data for change detection. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 225-238.

Zamanillo, I. (2013). Metodología para el desarrollo de nuevas técnicas y algoritmos en el reconocimiento inteligente de imágenes submarinas. Tesis Doctoral. Santander, Cantabria, España: Universidad de Cantabria.

ANEXOS

❖ Algoritmo utilizado para la siembra 2009

```
%%CODIGO EXTRACCION AUTOMATICA DE PALMAS AÑO DE SIEMBRA 2009

%Lectura de las imagenes mediante la ecualizacion del histograma
Banda1=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2009\2009b1.tif'));
Banda2=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2009\2009b2.tif'));
Banda3=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2009\2009b3.tif'));
RGB321=cat(3,Banda3,Banda2,Banda1);
figure,imshow(RGB321);

Imagen_gris=rgb2gray(RGB321);
figure,imshow(Imagen_gris); title('Imagen en tono de Gris');

%% Aplicacion de Filtros
%Ventana adecuada para el filtro de gaussiano
K = fspecial('gaussian',[5 5],10);
Gaussian = imfilter(Imagen_gris,K,'replicate');
%figure, imshow(Gaussian);title('Gaussian');

%Los resultados es posible analizarlos y trabajar con ellos filtro Sobel
K1 = fspecial('sobel');
Sobel = imfilter(Gaussian,K1,'replicate');
figure, imshow(Sobel);title('Sobel-Gaussiano');
%% Segmentacion de la imagen
%Segmentacion por el metodo de Umbral
level=graythresh(Imagen_gris);
level1=graythresh(Sobel);
BW=im2bw(Imagen_gris, level);
BW1=im2bw(Sobel, level1);
figure, imshow(BW1); title('Metodo Umbral')

%% %% %% Erosion o dilatacion
Se11 = strel('disk', 1);
Dilatar = imdilate(BW1, Se11);
Erosionar1=imerode(BW1, Se11);
%Erosionar2=imerode(BW1, Se2);
GradEros=BW1-Erosionar1;
figure, imshow(Erosionar1); title('Erosion')
%% %% %eliminar ruido--Funciona!!!!
```

```

noise=bwareaopen(Erosionar1,8);
figure, imshow(noise);title('eliminar ruido')

%% Exportar los resultados a centroides
S=regionprops(noise, 'centroid');
centroide=cat(1,S.Centroid);
imtool(noise)
hold(imgca,'on')
plot(imgca,centroide(:,1),centroide(:,2), 'r*')
hold(imgca,'off')

```

❖ Algoritmo utilizado para la siembra 2008

```

%%CODIGO EXTRACCION AUTOMATICA DE PALMAS AÑO DE SIEMBRA 2008 EN
%%UNDERPLANTING

%%Lectura de las imagenes mediante la ecualizacion del histograma
Banda1=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2008\2008b1.tif'));
Banda2=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2008\2008b2.tif'));
Banda3=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2008\2008b3.tif'));
RGB321=cat(3,Banda3,Banda2,Banda1);
figure,imshow(RGB321);

Imagen_gris=rgb2gray(RGB321);
imshow(Imagen_gris);

%% Aplicacion de Filtros
%%Ventana adecuada para el filtro de gaussiano
K = fspecial('gaussian',[5 5],10);
Gaussian = imfilter(Imagen_gris,K,'replicate');
figure, imshow(Gaussian);title('Gaussian');

%%Los resultados es posible analizarlos y trabajar con ellos filtro Sobel
K1 = fspecial('sobel');
Sobel = imfilter(Gaussian,K1,'replicate');
figure, imshow(Sobel);title('Sobel-Gaussiano');
%% Segmentacion de la imagen
%%Segmentacion por el metodo de Umbral
level=graythresh(Imagen_gris);
level1=graythresh(Sobel);
BW=im2bw(Imagen_gris, level);
BW1=im2bw(Sobel, level1);
figure, imshow(BW1); title('Metodo Umbral')

%% %% Erosion o dilatacion
Se11 = strel('disk', 1);
Dilatar = imdilate(BW1, Se11);
Erosionar1=imerode(BW1, Se11);
%Erosionar2=imerode(BW1, Se2);
GradEros=BW1-Erosionar1;

```

```

figure, imshow(Erosionar1); title('Erosion')
%% %eliminar ruido---Funciona!!!!
noise=bwareaopen(Erosionar1,8);
figure, imshow(noise);title('eliminar ruido')

%% Exportar los resultados a centroides
S=regionprops(noise, 'centroid');
centroide=cat(1,S.Centroid);
imtool(noise)
hold(imgca, 'on')
plot(imgca,centroide(:,1),centroide(:,2), 'r*')
hold(imgca, 'off')

```

❖ Algoritmo utilizado para la siembra 2007

```

%%CODIGO EXTRACCION AUTOMATICA DE PALMAS AÑO DE SIEMBRA 2007

%Lectura de las imagenes mediante la ecualizacion del histograma
Banda1=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2007\2007b1.tif'));
Banda2=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2007\2007b2.tif'));
Banda3=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2007\2007b3.tif'));
RGB321=cat(3,Banda3,Banda2,Banda1);
%figure, imshow(RGB321);

Imagen_gris=rgb2gray(RGB321);
%imshow(Imagen_gris);

%% Aplicacion de Filtros
%Ventana adecuada para el filtro de gaussiano
K = fspecial('gaussian',[5 5],10);
Gaussian = imfilter(Imagen_gris,K,'replicate');
%figure, imshow(Gaussian);title('Gaussian');

%Los resultados es posible analizarlos y trabajar con ellos filtro Sobel
K1 = fspecial('sobel');
Sobel = imfilter(Gaussian,K1,'replicate');
%figure, imshow(Sobel);title('Sobel-Gaussiano');
%% Segmentacion de la imagen
%Segmentacion por el metodo de Umbral
level=graythresh(Imagen_gris);
level1=graythresh(Sobel);
BW=im2bw(Imagen_gris, level);
BW1=im2bw(Sobel, level1);
figure, imshow(BW1); title('Metodo Umbral')

%% Erosion o dilatacion
Se11 = strel('disk', 1);
Se2=strel('disk', 2);
Dilatar = imdilate(BW1, Se11);
Erosionar1=imerode(BW1, Se11);

```

```

Erosionar2=imerode(BW1, Se2);

GradEros=BW4-Erosionar1;
limpiar=bwmorph(GradEros, 'clean'); %No funciona
openBW=imopen(BW4, Se11);
closeBW=imclose(BW1, Se11);
%Prueba=(Dilatar-Erosionar1);
Reconstrucion=imreconstruct(Erosionar1, BW1);
Borrarbordes=imclearborder(Reconstrucion); %No funciona
figure, imshow(Erosionar1); title('Erosionar1')
%% %eliminar ruido---Funciona!!!!
noise=bwareaopen(Erosionar1, 8);
figure, imshow(noise); title('eliminar ruido')
%% Exportar los resultados a centroides
S=regionprops(noise, 'centroid');
centroide=cat(1, S.Centroid);
imtool(noise)
hold(imgca, 'on')
plot(imgca, centroide(:,1), centroide(:,2), 'r*')
hold(imgca, 'off')

```

❖ Algoritmo utilizado para la siembra 2006

```

%%CODIGO EXTRACCION AUTOMATICA DE PALMAS AÑO DE SIEMBRA 2006 EN
%%UNDERPLANTING

%Lectura de las imagenes mediante la ecualizacion del histograma
Banda1=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2006\2006b1.tif'));
Banda2=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2006\2006b2.tif'));
Banda3=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\2006\2006b3.tif'));
RGB321=cat(3, Banda3, Banda2, Banda1);
figure, imshow(RGB321);

Imagen_gris=rgb2gray(RGB321);
%imshow(Imagen_gris);

%% Aplicacion de Filtros
%Ventana adecuada para el filtro de gaussiano
K = fspecial('gaussian', [5 5], 10);
Gaussian = imfilter(Imagen_gris, K, 'replicate');
figure, imshow(Gaussian); title('Gaussian');

%Los resultados es posible analizarlos y trabajar con ellos filtro Sobel
K1 = fspecial('sobel');
Sobel = imfilter(Gaussian, K1, 'replicate');
figure, imshow(Sobel); title('Sobel-Gaussiano');
%% Segmentacion de la imagen
%Segmentacion por el metodo de Umbral
level=graythresh(Imagen_gris);
level1=graythresh(Sobel);
BW=im2bw(Imagen_gris, level);

```

```

BW1=im2bw(Sobel, level1);
figure, imshow(BW1); title('Metodo Umbral')

%% %% %% %% Erosion o dilatacion
Sell = strel('disk', 1);
Dilatar = imdilate(BW1, Sell);
Erosionar1=imerode(BW1, Sell);
GradEros=BW1-Erosionar1;
figure, imshow(Erosionar1); title('Erosion')
%% %% %eliminar ruido---Funciona!!!!
noise=bwareaopen(Erosionar1,8);
figure, imshow(noise);title('eliminar ruido')

%% Exportar los resultados a centroides
S=regionprops(noise, 'centroid');
centroide=cat(1,S.Centroid);
imtool(noise)
hold(imgca, 'on')
plot(imgca,centroide(:,1),centroide(:,2), 'r*')
hold(imgca, 'off')
%% Exportar a excel
%xlswrite('2006.xls',centroide);

```

❖ Algoritmo utilizado para la siembra 1999

```

%%CODIGO EXTRACCION AUTOMATICA DE PALMAS AÑO DE SIEMBRA 1999

%Lectura de las imagenes mediante la ecualizacion del histograma
Banda1=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\1999\1999b1.tif'));
Banda2=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\1999\1999b2.tif'));
Banda3=histeq(imread('D:\CODIGO\palmasKC\1999\1999b3.tif'));
RGB321=cat(3,Banda3,Banda2,Banda1);
figure,imshow(RGB321);

Imagen_gris=rgb2gray(RGB321);
%imshow(Imagen_gris);

%% Aplicacion de Filtros
%Ventana adecuada para el filtro de gaussiano
K = fspecial('gaussian',[5 5],10);
Gaussian = imfilter(Imagen_gris,K,'replicate');
figure, imshow(Gaussian);title('Gaussian');

%Los resultados es posible analizarlos y trabajar con ellos filtro Sobel
K1 = fspecial('sobel');
Sobel = imfilter(Gaussian,K1,'replicate');
figure, imshow(Sobel);title('Sobel-Gaussiano');
%% Segmentacion de la imagen
%Segmentacion por el metodo de Umbral

```

```

level=graythresh(Imagen_gris);
level1=graythresh(Sobel);
BW=im2bw(Imagen_gris, level);
BW1=im2bw(Sobel, level1);
figure, imshow(BW1); title('Metodo Umbral')
%% %% Erosion o dilatacion
Se11 = strel('disk', 1);
%Se2=strel('disk', 2);
Dilatar = imdilate(BW1, Se11);
Erosionar1=imerode(BW1, Se11);

GradEros=BW1-Erosionar1;
openBW=imopen(BW1,Se11);
closeBW=imclose(BW1,Se11);
figure, imshow(Erosionar1); title('Erosion')

%% Regionprops para dividir objetos
T=bwconncomp(Erosionar1);
numpixels=cellfun(@numel,T.PixelIdxList);
[biggest, idx]=max(numpixels);
L=labelmatrix(T);
%RGBK=label2rgb(L,'jet', [.7 .7 .7],'shuffle');
%figure,imshow(RGBK);

%% %eliminar ruido---Funciona!!!!
noise=bwareaopen(Erosionar1,8);
figure, imshow(noise);title('eliminar ruido')
%% Sistema de coordenadas
ref=imref2d(size(noise),[605199.722,602832.222] , [1122138.849
1120245.849]);
figure, imshow(ref);

%% Exportar los resultados a centroides
S=regionprops(noise, 'centroid');
centroide=cat(1,S.Centroid);
imtool(noise)
hold(imgca, 'on')
plot(imgca,centroide(:,1),centroide(:,2), 'r*')
hold(imgca, 'off')

```