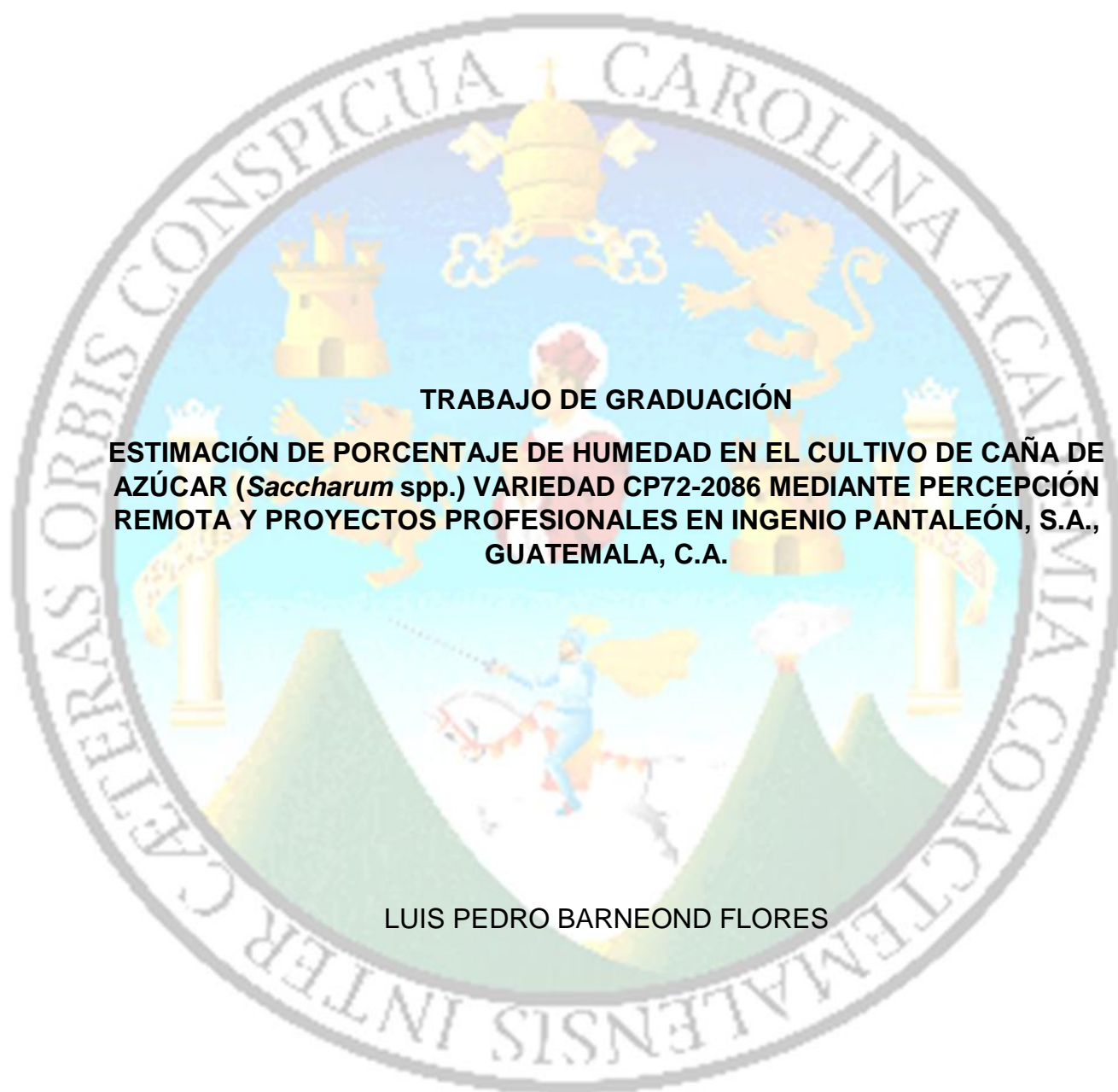


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**ESTIMACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) VARIEDAD CP72-2086 MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA Y PROYECTOS PROFESIONALES EN INGENIO PANTALEÓN, S.A., GUATEMALA, C.A.**

**LUIS PEDRO BARNEOND FLORES**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**ESTIMACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) VARIEDAD CP72-2086 MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA Y PROYECTOS PROFESIONALES EN INGENIO PANTALEÓN, S.A., GUATEMALA, C.A.**

**LUIS PEDRO BARNEOND FLORES**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

DOCUMENTO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

LUIS PEDRO BARNEOND FLORES

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M. A. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. M. Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P. Agr. Walfer Yasmany Godoy Santos
VOCAL QUINTO	P. Cont. Neydi Yasmine Juracán Morales
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, noviembre de 2017



Guatemala, noviembre de 2017

Honorable Junta Directiva

Honorable Tribunal Examinador

Facultad de Agronomía

Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el documento de Graduación titulado: **Estimación de porcentaje de humedad en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) variedad CP72-2086 mediante percepción remota, Ingenio Pantaleón, S.A., Guatemala, C.A.** Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

LUIS PEDRO BARNEOND FLORES





## **ACTO QUE DEDICO**

**A:**

### **DIOS**

Gracias padre celestial por darme, vida, salud y todas las aptitudes y actitudes necesarias para permitirme alcanzar este momento de mi vida, pidiéndote que tu presencia y tu gracias siempre me acompañen.

### **MIS PADRES**

Carlos Fernando Barneond Laines y Odilia Flores de Barneond, por siempre apoyarme durante esta etapa universitaria, por brindarme su amor y apoyo incondicionado y sus valores aportados durante toda mi vida.

### **MIS HERMANOS**

Carmen, Fernando, Josué gracias por su apoyo.

### **MIS ABUELITOS**

Arturo Barneond Mérida QEPD por el legado que nos ha dejado,

Gloria Alba Laines de Barneond gracias por su cariño y apoyo.

Carlos Humberto Flores QEPD

Carmen Natareno Noriega flores sobre su tumba.

### **MI FAMILIA**

Gracias por su cariño.



## **MIS ASESORES**

De la Facultad de Agronomía, Ingenieros Agrónomos: Fernando Rodríguez Bracamonte, Edwin Guillermo Santos, Miguel Ángel Morales gracias la orientación y asesoría de mi tesis.

De Ingenio Pantaleón, Ingenieros Agrónomos: Héctor Fabricio Alvarado Ruiz, Henry Raymundo Arredondo. Ingeniero Industrial Francisco José Khan Ramírez.

## **INGENIO PANTALEÓN**

Gracias por brindarme la oportunidad de realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado EPS.

## **MIS AMIGOS**

De la Facultad; Axel, José, Coki, Cano, Crillin, Fredy, Herber, Jaime, Julio, Pínulo, Rene, Álvaro, Pretza, Pec, Wili, Elena, Karla, Bárbara, André, Mónica.

De Conce; Kike, Leo, Peter, Pollo, Arny.

De Panta; Chass, Dani, Juan, Tim, Sergio, Javi, Rolo.

Del colegio; Motta, Ángel, Christian, Fredy, Majo, Néstor.

Gracias por brindarme su amistad, Dios me bendijo con amigos como ustedes.



## **TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO**

**A:**

**Dios**

Creador de todo.

**Guatemala**

Hermoso país de la eterna primavera.

**USAC**

Universidad de San Carlos de Guatemala, grande entre las grandes, orgullo de pertenecer a la tricentaria y gloriosa USAC.

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Orgulloso de haber pasado por sus salones y poder decir que soy egresado de la gloriosa FAUSAC. Institución que me brindo conocimientos y amistades para toda la vida.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DE INGENIO PANTALEÓN**

Por brindarme la oportunidad de realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado en la Unidad de Teledetección, Unidad que me dio la oportunidad de obtener nuevas capacidades como ingeniero agrónomo.







## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página.
RESUMEN GENERAL .....	viii
CAPÍTULO I .....	1
DIAGNÓSTICO DE LA UNIDAD DE TELEDETECCIÓN, EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, EN INGENIO PANTALEÓN, S.A., GUATEMALA, C.A.....	1
1.1 Presentación .....	3
1.2 Marco referencial .....	4
1.2.1 Ubicación geográfica .....	4
1.2.2 Importancia del cultivo .....	5
1.2.3 Agricultura de precisión .....	5
1.2.4 Teledetección .....	5
1.2.5 Elementos del proceso de teledetección .....	6
1.2.6 Plataforma landsat ocho (8).....	7
1.2.7 Sensores de landsat ocho (8) .....	8
1.2.8 Aplicación de la teledetección.....	9
1.2.9 Índice de vegetación .....	10
1.2.9 Organización del departamento.....	12
1.3 Objetivos .....	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 Metodología .....	15
1.5 Resultados .....	18
1.5.1 Actividades de la Unidad de Teledetección .....	18
1.5.2 Capacidad de trabajo de la Unidad de Teledetección.....	18
1.5.3 Semáforo de productividad .....	19
1.6 Conclusiones y recomendaciones.....	21
1.7 Bibliografías .....	22
CAPÍTULO II .....	23
ESTIMACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR ( <i>Saccharum</i> spp.) VARIEDAD CP72-2086 MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA, INGENIO PANTALEÓN, S.A., GUATEMALA, C.A.....	23
2.1 Presentación .....	25

	Página.
2.2 Marco conceptual.....	26
2.2.1 Importancia del cultivo .....	26
2.2.2 Agricultura de precisión .....	27
2.2.3 Importancia de la teledetección .....	27
2.2.4 Radiación electromagnética.....	27
2.2.5 Espectro electromagnético .....	28
2.2.6 Interacción de la energía electromagnética con la materia.....	29
2.2.7 Elementos del proceso de teledetección .....	31
2.2.8 Landsat ocho (8).....	32
2.2.9 Índices de vegetación .....	36
2.2.10 Maduración del cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum</i> spp.).....	39
2.2.11 Áreas cultivadas con la variedad CP72-2086 .....	40
2.3 Objetivos .....	41
2.3.1 Objetivo General.....	41
2.3.2 Objetivos Específicos.....	41
2.4 Hipótesis .....	41
2.5 Metodología .....	42
2.5.1 Descarga y procesamiento de imagen satelital .....	42
2.5.2 Selección y obtención de coordenadas de áreas de muestreo.....	44
2.5.3 Muestreo de campo .....	45
2.5.4 Análisis de laboratorio.....	46
2.5.5 Análisis e interpretación de datos obtenidos y modelos generados.....	46
2.5.6 Validación del modelo de regresión lineal múltiple .....	48
2.5.7 Diagrama de flujo metodológico del modelo de estimación de porcentaje de humedad.....	48
2.6 Resultados y discusión .....	50
2.7 Conclusiones y recomendaciones.....	58
2.8 Bibliografías .....	59
2.9 Anexos Capítulo II.....	61

	Página.
CAPÍTULO III .....	81
PROYECTOS REALIZADOS EN LA UNIDAD DE TELEDETECCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DE INGENIO PANTALEÓN, S.A., GUATEMALA, C.A. ....	81
3.1 Presentación .....	83
3.2 Proyecto I. Manual para la elaboración de la corrección atmosférica de imágenes satelitales landsat ocho (8) en software ENVI 5.1 para la Costa Sur de Guatemala. ....	85
3.2.1 Presentación .....	85
3.2.1    Objetivos.....	85
3.2.2    Metodología.....	86
3.2.3    Resultados.....	87
3.2.4    Conclusiones y recomendaciones .....	88
3.2.5    Bibliografía.....	88
3.3 Proyecto II. Capacitación en el uso, interpretación y representatividad de los productos de los semáforos de productividad desarrollados por la Unidad de Teledetección al personal de producción de Ingenio Pantaleón. ....	89
1.3.1    Presentación.....	89
1.3.2    Objetivos.....	89
1.3.3    Metodología.....	90
1.3.4    Resultados.....	91
1.3.5    Conclusiones y recomendación. ....	94
3.4 Proyecto III. Análisis de secciones con presencia de maleza mediante percepción remota en áreas seleccionadas para la toma de imágenes con drones utilizando el software ArcGis 10.3.....	95
3.4.1 Presentación .....	95
3.4.2 Objetivos.....	95
3.4.3 Metodología .....	96
3.4.5 Resultados.....	97
3.4.6 Conclusiones .....	103
3.5 Anexos de proyecto I del Capítulo III. ....	104
3.6 Anexos del proyecto II Capítulo III .....	125
3.7 Anexos del proyecto III Capítulo III .....	126

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página.
Cuadro 1. Longitud de onda, resolución y bandas de landsat ocho (8).....	9
Cuadro 2. Resultados a las entrevistas realizadas al área de producción, respecto a los semáforos de productividad que realiza la Unidad de teledetección. ....	20
Cuadro 3. Longitudes de onda, resolución y bandas utilizadas por landsat ocho (8) para el Índice Diferencial de Agua Normalizada.....	34
Cuadro 4. Composición varietal de la Agroindustria Azucarera de Guatemala para la zafra 2015-2016.....	40
Cuadro 5. Análisis de criterios de información bayesiana. ....	50
Cuadro 6. Análisis de regresión y análisis de la varianza del modelo de regresión polinomial seleccionado para generar el modelo.....	51
Cuadro 7. Valores extremos del análisis de residuales obtenidos a partir del modelo $Y=328.36X^3 -208.12X^2+40.368X+67.062$ . ....	53
Cuadro 8. Análisis de criterios de información bayesiano para el nuevo modelo.....	54
Cuadro 9. Análisis de regresión y análisis de la varianza del modelo de regresión polinomial, generar del modelo $Y=328.36X^3 -208.12X^2+40.368X+67.062$ excluyendo los datos extremos. ....	55
Cuadro 10A. Unión de información espacial, obtenida de satélite landsat ocho (8) con análisis de laboratorio de las muestras realizadas en campo. ....	61
Cuadro 11A. Análisis de residuales generado a partir del modelo polinomial obtenido en el cuadro seis (6). ....	64
Cuadro 12. Cuadro de resultados de la entrevista realizado posterior a la explicación del semáforo de productividad y gira de campo para validar la representatividad. ....	91
Cuadro 13. Área cuantificada en hectáreas con presencia de maleza en los vuelos 1, 2, 3, y 4 en Zona Agrícola Bonampak.....	97
Cuadro 14. Área cuantificada en hectáreas con presencia de maleza en los vuelos 1, 2, 3, y 4 en Zona Agrícola Limones. ....	98
Cuadro 15. Área cuantificada en hectáreas con presencia de maleza en los vuelos 1, 2, 3, y 4 en Zona Agrícola Playa Grande.....	99
Cuadro 16. Área cuantificada en hectáreas con presencia de maleza en los vuelos 1, 2, 3, y 4 en Zona Agrícola Paso Antonio. ....	100
Cuadro 17. Área cuantificada en hectáreas con presencia de maleza en los vuelos 1, 2, 3, y 4 en Zona Agrícola California.....	101
Cuadro 18. Precipitación para el mes de Octubre de las estaciones más cercanas a las fincas analizadas con presencia de maleza. ....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Ubicación Ingenio Pantaleón, jurisdicción del departamento de Escuintla, Guatemala.....	4
Figura 2. Elementos del proceso de teledetección: (A) fuente de energía, (B) radiación y la atmosfera, (C) interacción con la superficie terrestre, (D) sensor, (E) sistema de transmisión, recepción y proceso, (F) información transmitida, (G) Aplicación.....	6
Figura 3. Organigrama administrativo del Departameto de Ingeniería Agrícola. ....	13
Figura 4. Rango de longitud de onda del espectro visible dentro del espectro electromagnético. ....	29
Figura 5. Interacción de la energía electromagnética con la materia. ....	29
Figura 6. Elementos del proceso de teledetección: (A) fuente de energía, (B) radiación y la atmosfera, (C) interacción con la superficie terrestre, (D) sensor, (E) sistema de transmisión, recepción y proceso, (F) información transmitida, (G) Aplicación.....	31
Figura 7. Firma espectral generalizada de la vegetación. ....	38
Figura 8. Proceso para realizar la corrección atmosférica de las imágenes landsat ocho (8). ....	42
Figura 9. Banda cinco y Banda seis de imagen landsat procesada, por Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICAÑA), Región de la Costa Sur de Guatemala. ....	43
Figura 10. Imagen del Índice Diferencial de Agua Normaliza (NDWI), Región de la Costa Sur de Guatemala. ....	44
Figura 11. Diagrama de interpretación de la posición de donde fueron extraídas las coordenadas de los puntos para los muestreos. ....	45
Figura 12. Ubicación de la toma de muestras vegetal, para obtención de humedad, dentro de pixel seleccionado en los muestreos y presentación final de la muestra vegetal para obtención de humedad. ....	45
Figura 13. Diagrama de proceso para la obtención del modelo de estimación de humedad en el cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum spp.</i> ).....	49
Figura 14. Regresión polinomial grado 3. Datos numéricos obtenidos del índice diferencial de agua normalizado (NDWI) de seis imágenes satelitales landsat.....	51
Figura 15. Plot de residuales - valores predichos.....	52
Figura 16. Regresión polinomial grado 3 generada.....	54
Figura 17. Plot de residuales - valores predichos.....	56
Figura 18A. Mapa de Finca La Consentida, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI. ....	65
Figura 19A. Mapa de Finca Agua Blanca, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI. ....	66

	Página.
Figura 20A. Mapa de Finca Balsamo, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.....	67
Figura 21A. Mapa de Finca Limones S.A. con coordenadas de muestreo e imagen NDWI. ....	68
Figura 22A. Mapa de Finca Limones Pantaleón, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.....	69
Figura 23A. Mapa de Finca Santa Teresa Klose, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.....	70
Figura 24A. Mapa de Finca El Jobo, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.....	71
Figura 25A. Mapa de Finca La Havana, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI. ....	72
Figura 26A. Mapa de Finca El Molino Ufer, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI. ....	73
Figura 27A. Mapa de Finca Paso Antonio, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI. ....	74
Figura 28A. Mapa de Finca San Juan Sinacapa, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.....	75
Figura 29A. Mapa de finca La Presa Baúl, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI. ....	76
Figura 30A. Mapa de Finca Playa Grande, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI. ....	77
Figura 31A. Mapa de Finca Limoncitos, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI. ....	78
Figura 32A. Mapa de Finca La Havana, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI. ....	79
Figura 33A. Mapa de Finca La Agrícola, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI. ....	80
Figura 34. Metodología para la elaboración de la corrección atmosférica a una imagen satelital landsat ocho (8).....	86
Figura 35. Secuencia de imágenes correspondiente al procedimiento de la corrección atmosférica en el software ENVI 5.1. ....	87
Figura 36. Semáforo de productividad de zona agrícola Bonampak, Finca El Para, lotes 305 y 306. ....	92
Figura 37. Fotografía de gira de campo zona agrícola Bonampak 1 de abril de 2016, Finca El Para, lote 305. ....	93
Figura 38A. Imagen de la gira de campo para la validación del semáforo de productividad.....	125
Figura 39A. Imagen de jefes de zona del área de producción. ....	125
Figura 40A. Mapa de dinámica de población de maleza en Zona Agrícola Bonampak....	126
Figura 41A. Mapa de dinámica de población de maleza en Zona Agrícola Paso Antonio.....	127
Figura 42A. Mapa de dinámica de población de maleza en Zona Agrícola Limones. ....	128

Página.

Figura 43A. Mapa de dinámica de población de maleza en Zona Agrícola Playa Grande ..... 129

Figura 44A. Mapa de dinámica de población de maleza en Zona Agrícola California..... 130

## RESUMEN GENERAL

El Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) fue realizado de febrero a noviembre 2016, en el departamento de Ingeniería Agrícola de la Corporación Pantaleón, Pantaleón S.A., el cual tiene a su cargo establecer proyectos de riego, drenaje, diseño de campos de cultivos, mantenimiento de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Teledetección.

Entre las actividades realizadas se elaboró un diagnóstico de la situación actual de la Unidad de Teledetección, donde se señalan cada uno de las actividades y responsabilidades a su cargo. Se indagó sobre las actividades que realiza la Unidad de Teledetección entrevistando a las personas correspondientes y analizando sus respuestas mediante la técnica del diferencial semántico, obteniendo como resultados, forma de interpretar los productos de la Unidad de teledetección y las áreas a las que le entrega servicio la Unidad de teledetección.

Además se realizó la investigación sobre: estimación de porcentaje de humedad en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) variedad CP72-2086 mediante percepción remota, Ingenio Pantaleón, S.A., Guatemala, C.A. Este estudio se llevó a cabo en las 11 zonas de producción que el Ingenio administra: Bonampak, Pantaleón, Limones, Playa Grande, California, Concepción, Paso Antonio, El Baúl, Florida Pantaleón, Puyumate y Verapaz.

Entre los principales resultados del diagnóstico, se identificó mediante entrevistas y la técnica del diferencial semántico la problemática del área de producción con los semáforos de productividad; siendo la inconformidad con la realidad que presentan los mapas de índices de vegetación y semáforos de productividad. Con los resultados obtenidos se realizaron giras de campo visitando fincas y lotes seleccionados con la finalidad de analizar los mapas en campo y rectificar su veracidad interpretando lo que indicaban los mapas del área, respecto a focos de despoblación, marchitez, deficiencia nutricional y focos de plagas.



Realizar el modelo de correlación de NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado) mediante percepción remota con la humedad que presenta el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en el campo, da la disponibilidad de tener un muestreo de humedad que es capaz de estimar la humedad del dosel de la planta, representando en un 74 % la realidad del cultivo, en la zona de la variedad CP72-2086, teniendo veracidad de las áreas observadas, reduciendo costos y con disponibilidad de datos. El modelo generado se recomienda utilizarlo como herramienta complementaria para la planeación de los muestreos de humedad. Utilizando como referencia un valor del Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI) menor a 0.4, expresa un porcentaje de humedad inferior a 71 %, indicando que el cultivo está por llegar a su maduración natural.

Como proyectos profesionales se apoyó al departamento de Ingeniería Agrícola durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), en la Unidad de Teledetección, realizando las siguientes actividades.

- A. Manual para la elaboración de la corrección atmosférica de imágenes satelitales landsat ocho (8) en software ENVI 5.1 para la Costa Sur de Guatemala.
- B. Capacitación en el uso, interpretación y representatividad de los productos de los semáforos de productividad desarrollados por la Unidad de teledetección al personal de producción de Ingenio Pantaleón.
- C. Análisis de secciones con presencia de maleza mediante percepción remota en áreas seleccionadas para la toma de imágenes con drones utilizando software ArcGis 10.3.





## **CAPÍTULO I**

**DIAGNÓSTICO DE LA UNIDAD DE TELEDETECCIÓN, EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, EN INGENIO PANTALEÓN, S.A., GUATEMALA, C.A.**



## 1.1 Presentación

El Ingenio Pantaleón S.A pertenece a la Corporación Pantaleón Concepción S.A; es el mayor productor de azúcar de Guatemala. En la zafra 2007-2008 de acuerdo con los datos reportados en el boletín estadístico de CENGICAÑA (CENGICAÑA 2008), procesó 446,803 ton de caña, lo que produjo 971, 311,200 ton de azúcar.

La administración agrícola del Ingenio está conformada por las áreas de Producción, cosecha y Servicios Técnicos Agrícolas. Dentro de este último se encuentra el departamento de Ingeniería Agrícola, que es el encargado del diseño y la operación de sistemas de riego, drenaje, diseño de campos de cultivo y la administración de los sistemas de información geográfico (GIS) en el cual se encuentra incluido el procesamiento de imágenes Satelitales y Drones (Teledetección); en las 11 zonas de producción que el Ingenio administra: Bonampak, Pantaleón, Limones, Playa grande, California, Concepción, Paso Antonio, El Baúl, Florida Pantaleón, Puyumate y Verapaz.

La Unidad de Teledetección, se encuentra en el departamento de Ingeniería Agrícola que se ubica dentro del casco del Ingenio Pantaleón en el kilómetro 86 carretera al Pacifico (CA-2), a 26 kilómetros de la cabecera departamental en el municipio de Siquinalá.

Esta Unidad integra el procesamiento de imágenes satelitales y el procesamiento de imágenes de drones, para obtener el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para conocer el estado del cultivo a través del tiempo, y trasladar la información a las zonas de producción para que tomen medidas correctivas, el objetivo del diagnóstico fue analizar la situación actual de los productos que entrega la Unidad de teledetección del departamento de Ingeniería Agrícola al área de producción. Como parte de la metodología para obtener información se realizaron entrevistas al personal del departamento y consultas bibliográficas.

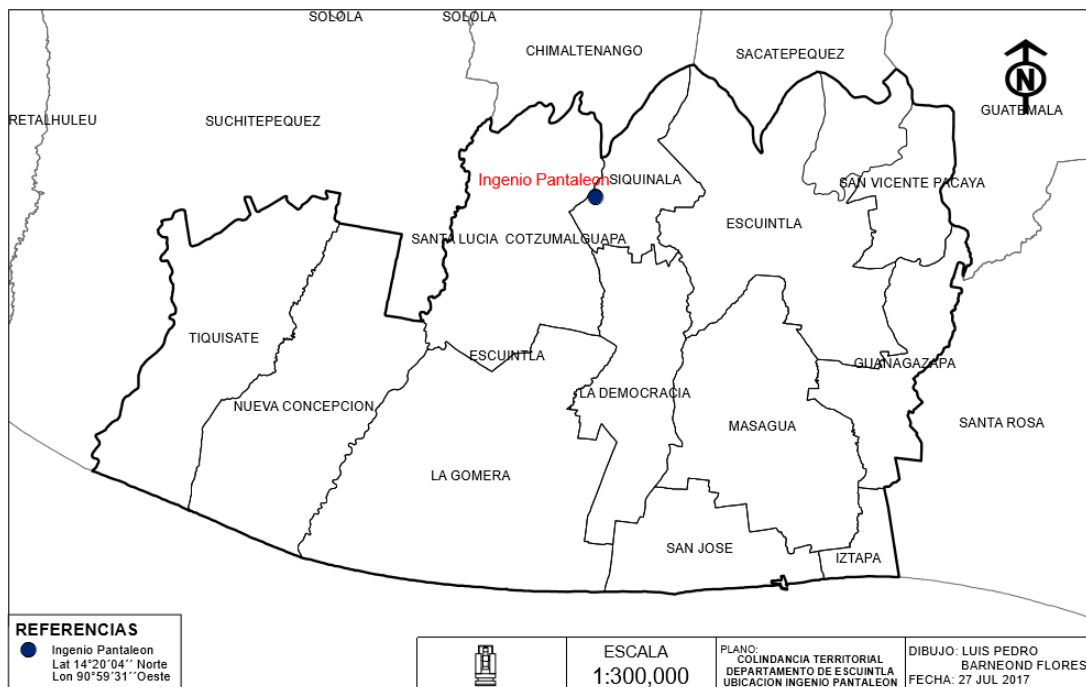
Este documento muestra las distintas actividades que realiza la Unidad de teledetección, identifica la problemática existente y se proponen soluciones y recomendaciones para realizar una mejor labor.

## 1.2 Marco referencial

### 1.2.1 Ubicación geográfica

En la figura 1 se muestra la ubicación del casco central de la finca Pantaleón, donde se ubica el departamento de Ingeniería Agrícola, se encuentra en jurisdicción del municipio de Siquinalá, dentro de las coordenadas geográficas Latitud  $14^{\circ} 20' 04''$  Norte y Longitud  $90^{\circ} 59' 31''$  Oeste, a una altitud de 460 metros sobre el nivel de mar.

El acceso al casco central es por la carretera al Pacífico CA-2 en el kilómetro 86.5 al costado de la cinta asfáltica a cuatro kilómetros del municipio de Siquinalá y dos kilómetros del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, estos del departamento de Escuintla.



**Figura 1. Ubicación Ingenio Pantaleón, jurisdicción del departamento de Escuintla, Guatemala.**

### 1.2.2 Importancia del cultivo

Para Centroamérica y para el resto de América el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es el más importante (Díaz y Portocarrero, 2002), exceptuando el actual y constante crecimiento del cultivo de banano. En total la producción en Centroamérica es de 395 mil hectáreas, teniendo un área cultiva a nivel mundial de 47.7 % Con un rendimiento promedio de 84 ton/ha de caña. Siendo Guatemala el quinto país más importante de producción de caña de azúcar (FAOSTAT, 2002).

### 1.2.3 Agricultura de precisión

Ezcara (2012), define la agricultura de precisión como “la utilización y aplicación de las nuevas tecnologías, teniendo en cuenta la diversidad del suelo, el entorno ambiental y las necesidades de las plantas con el fin de gestionar y optimizar la aplicación de insumos (semillas, fertilizantes, fitosanitarios, riego, etc.) para obtener una producción rentable, de calidad y respetuosa con el medio ambiente”.

La Agricultura de precisión emplea una serie de herramientas para hacer más eficientes las labores en el cultivo de caña de azúcar. Ezcara (2012) menciona entre estas herramientas, las siguientes:

- Sistema de localización Global Position System (GPS)
- Monitores de rendimiento
- Fotos aéreas de satélites
- Sistemas de información geográfica (SIG).

### 1.2.4 Teledetección

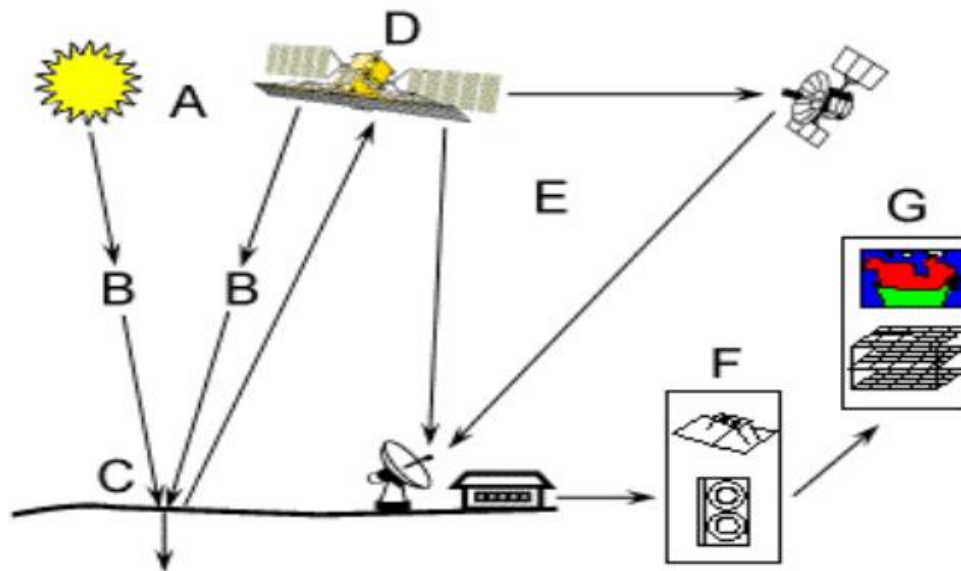
La teledetección se define como la técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre sin entrar en contacto con ella (Chuvieco E, 1995), sin embargo siempre es apropiado la realización de una

supervisión clasificada para rectificar la información que está siendo obtenida mediante el sensor remoto (Richardson R, 2016).

La teledetección es el precursor a un nuevo nivel de agricultura de precisión, teniendo como ventaja la obtención de información de grandes áreas en poco tiempo, creando modelos de predicción y se llevaría al nivel de toma de decisiones mediante sensores remotos (Richardson R, 2016).

### 1.2.5 Elementos del proceso de teledetección

El proceso de teledetección involucra la percepción de energía emitida y el uso de sensores que producen imágenes, así como la interacción existente entre la radiación incidente y los objetos de interés (Martínez, 2005). En la figura 2 se ilustra la relación entre cada uno de los componentes del proceso de teledetección.



Fuente: Agustín Lanero Parrado, Universidad de Oviedo, 2005.

**Figura 2. Elementos del proceso de teledetección: (A) fuente de energía, (B) radiación y la atmósfera, (C) interacción con la superficie terrestre, (D) sensor, (E) sistema de trasmisión, recepción y proceso, (F) información transmitida, (G) Aplicación.**



- Fuente de energía (A): Se habla de teledetección pasiva cuando el flujo de energía es externo al sensor y se habla de teledetección activa cuando el flujo de energía es emitido por el sensor. Siendo la fuente de energía en la teledetección pasiva el sol (Martínez, 2005).
- Radiación y la atmosfera (B): La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro a través del espacio libre (Martínez, 2005).
- Interacción con la superficie terrestre (C): La superficie terrestre recibe la radiación electromagnética procedente de la fuente de energía y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas (Martínez, 2005).
- Sensor (D): El sensor tiene la misión de captar la energía reflejada por la superficie terrestre, la codifica y la envía al sistema de recepción (Martínez, 2005).
- Sistema de transmisión, Recepción y proceso (E): El sistema de recepción es el encargado de recibir la información transmitida por el sensor, el sensor graba la información y la distribuye para su interpretación (Martínez, 2005).
- Interpretación y análisis (F): La información transmitida por el sensor es recibida y analizada (Martínez, 2005).
- Aplicación (G): Se extrae la información que se necesita para la actividad a realizar, y el usuario encargado de la interpretación obtiene el producto final (Martínez, 2005).

### **1.2.6 Plataforma landsat ocho (8)**

Landsat 8 pertenece a una serie de satélites construidos y puestos en órbita por el departamento de la NASA Science for a changing world para la observación de alta

resolución de la superficie terrestre. Están ubicados a 705 km de altura, con una inclinación de 98.2° respecto al Ecuador (Science for a changing world, 2013).

Las imágenes Landsat ocho 8, son imágenes satelitales de toda la tierra que se obtienen cada 16 días. Los datos recogidos por los instrumentos a bordo del satélite están disponibles para descargar de forma gratuita en Glovis, [www.EarthExplorer.com](http://www.EarthExplorer.com) (Science for a changing world, 2013).

### **1.2.7 Sensores de landsat ocho (8)**

Landsat ocho (8) lleva dos instrumentos: El Operativo Land Imager (OLI), este es un sensor que incluye bandas refinadas y el sensor infrarrojo térmico (TIRS) que proporciona dos bandas térmicas. (Science for a changing world, 2013).

Estos dos instrumentos constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros por 30 metros, estas son las dimensiones que tienen las Bandas 1 a la 7 y la banda 9. Banda 1 (ultra - azul) es útil para la costa y estudios marítimos. Lo que respecta la banda 2 a la banda 7 son valores numéricos pertenecientes al rango visible del espectro electromagnético, la banda 9 es útil para la detección de cirros. La resolución espacial de la banda 8 (pancromática) es de 15 por 15 m y es útil al momento de trabajar los índices de vegetación. Bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas de la superficie más precisos y se recogen a 100 m (Science for a changing world, 2013).

En el cuadro 1, observamos la longitud de onda, encerrado en el cuadro rojo observamos la parte que se capta del espectro electromagnético, estos valores numéricos se muestran con la finalidad de tener la capacidad de interpretar las firmas espectrales de la vegetación, así como los índices de vegetación (Science for a changing world, 2013).

**Cuadro 1. Longitud de onda, resolución y bandas de landsat ocho (8).**

	<b>Bandas</b>	<b>Long de onda (micrómetros)</b>	<b>Resolución (metros)</b>
<b>Landsat 8</b>  El Operativo Land Imager (OLI) y El sensor infrarrojo térmico (TIRS)	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 a 0.45	30
	Band 2 – Blue	0.45 a 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 a 0.59	30
	Band 4 – Red	0.64 a 0.67	30
	Band 5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 a 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 a 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 a 2.29	30
	Band 8 – Panchromatic	0.50 a 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 a 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 a 11.19	100 * (30)
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 a 12.51	100 * (30)

Fuente: Science for a changing world, 2013.

### 1.2.8 Aplicación de la teledetección

El Dr. Moliner (1997) indica que la teledetección tiene como finalidad identificar y caracterizar los materiales de la superficie terrestre y los procesos que en ella ocurren a partir de la radiación electromagnética de la misma. Es decir cuando la radiación solar incide sobre un material, una parte de la misma se refleja y el resto se propaga en su interior, allí, parte es absorbida y el resto es dispersada en todas direcciones.

La suma de la energía reflejada más la energía emitida del objeto después de la dispersión en todas las direcciones posibles, permite definir la reflectividad espectral del mismo (Gilabert y Gonzales 1997).

Es precisamente la dependencia de la reflectividad con la longitud de onda, juntamente con el hecho de que la reflectividad espectral está íntimamente relacionada con la naturaleza del material (rasgos de absorción en función de los constituyentes del material)

lo que hace posible el reconocimiento de materiales en teledetección (Gilabert y Gonzales 1997).

### **1.2.9 Índice de vegetación**

Chuvieco E (1995) define la teledetección como la técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre sin entrar en contacto con ella. Y su finalidad es identificar y caracterizar los materiales de la superficie a partir de la radiación electromagnética procedente de la misma.

En general, cuando la radiación solar incide sobre un material, una parte de la misma se refleja en la parte más superficial del mismo y el resto se propaga por su interior. Allí, parte es absorbida y el resto sufre un proceso de dispersión en todas direcciones, de tal modo que parte de la energía dispersada emerge del material por la misma superficie por la que penetra, sumándose así a la radiación reflejada en la capa superficial. La suma de estas dos contribuciones constituye la radiación reflejada por el material y juntamente con la irradiancia, permite definir la reflectividad espectral o firma espectral del mismo (Gilabert, Gonzales, García, 1997).

Precisamente la relación existente entre la reflectividad y la naturaleza del material respecto a rasgos de absorción en función de los constituyentes químicos de los materiales es lo que hace posible el reconocimiento de materiales en Teledetección (Chuvieco, 1996).

Al ser este tipo de absorción un proceso que está cuantificado, dichos rasgos se encuentran localizados en longitudes de onda concretas, dependiendo de la presencia de determinados componentes en el material, estando la intensidad de los mismos relacionada de forma directa con la cantidad de dicho componente (Danson y Plummer, 1995).

De esta forma los rasgos que son consecuencia de transiciones electrónica como la presencia de hierro o la presencia de clorofila se localizan en la región visible del espectro, mientras que los debidos a transiciones de tipo rotacional como los ion  $\text{OH}^-$  se producen en la zona del infrarrojo. Es, por tanto, la distinta forma de interactuar la radiación electromagnética con la materia en función de la reflectancia la que determina la respuesta espectral de las superficies naturales y posibilita su estudio (Gilabert, Gonzales, García, 1997).

En general los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites o sensores remotos cuya función es realzar la cubierta vegetal en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros componentes como el suelo y la iluminación (Richardson, 2016).

Entre los índices de vegetación, el más conocido es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), este índice permite estimar cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación por medio de sensores remotos instalados en plataformas espaciales (Chuvieco, 1996).

El NDVI es el cociente de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral individual, los valores de NDVI toman valores entre un rango de 0 a 1. Se deben de tomar datos de la banda roja que es la región en la que mayor absorción de clorofila fuerte tiene y de la banda infrarroja cercana que se encuentra en la región de alta reflectancia y poca absorción, ya que entre estas dos bandas hay diferencias marcadas en los valores de reflectancia permite interpretar los valores de NDVI siendo un valor más cercano a 1 indica mayor densidad y vigorosidad de vegetación y más cercano a 0 menor vigorosidad y densidad (Villatoro, 2016).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IRCercano} - \text{Rojo}}{\text{IrCercano} + \text{Rojo}} = \frac{\text{Banda 5} - \text{Banda 4}}{\text{Banda 5} + \text{Banda 4}}$$

Dónde:

IR cercano: Hace referencia a la banda del Infrarrojo cercano

Rojo: Hace referencia a la banda del rojo.

El Índice diferencial de agua normalizado (NDWI), es utilizado para medir la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo. Al igual que el NDVI los valores de reflectancia del NDWI oscilan entre -1 y 1, siendo 1 el valor con mayor porcentaje de humedad (Chuvienco, 1996).

$$\text{NDWI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}} = \frac{\text{Banda 5} - \text{Banda 6}}{\text{Banda 5} + \text{Banda 6}}$$

Dónde:

NIR: Hace referencia a la banda del Infrarrojo cercano.

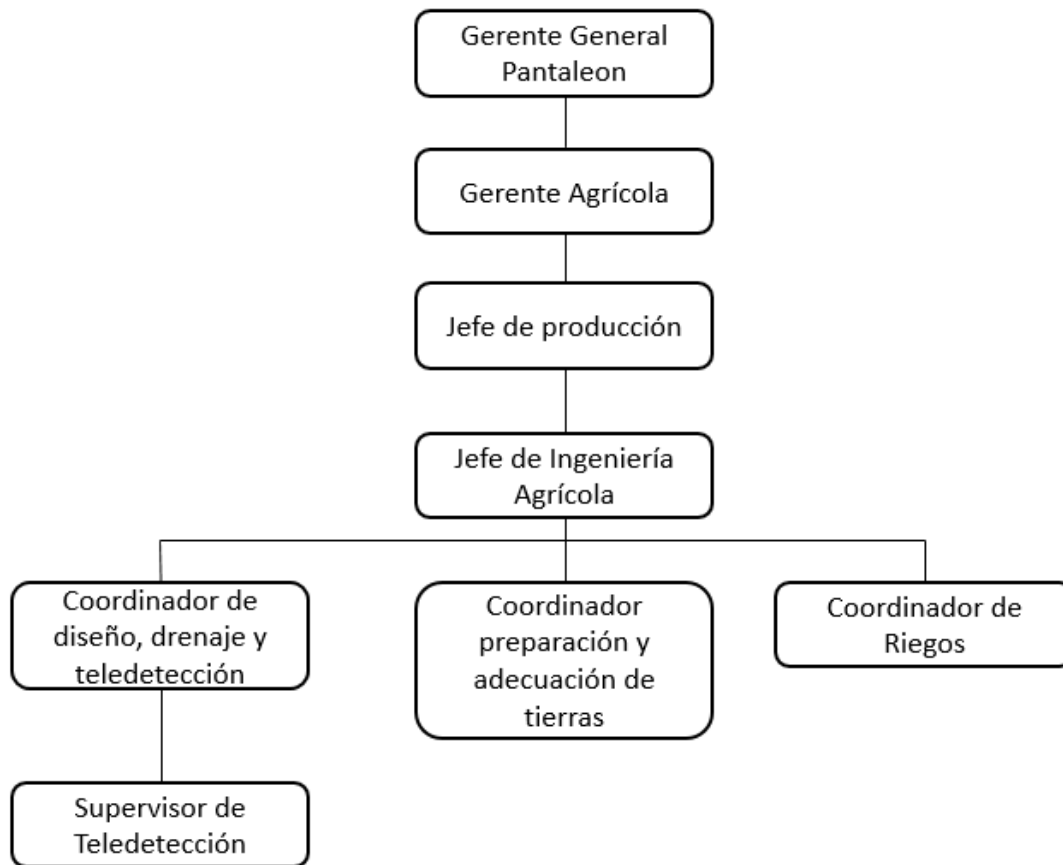
SWIR: Hace referencia a la banda del Infrarrojo medio.

En la figura 7 se observan la firma espectral general de la vegetación, la banda del infrarrojo cercano como la banda del infrarrojo medio se encuentran en la región de alta reflectancia de cubierta vegetal. Sin embargo la absorción de la energía electromagnética en la banda del infrarrojo cercano es insignificante, contrario a la banda del infrarrojo medio, como podemos observar en la banda 4, tiene la capacidad de absorción de la energía electromagnética ya que es capaz de absorber esta energía por la presencia de agua en la planta. Como resultado el NDWI es sensible a cambios en el contenido de agua líquida en la vegetación (Dr. Roberto Richardson, 2016).

### **1.2.9 Organización del departamento**

El departamento de Ingeniería Agrícola, está liderado por el jefe de departamento, que es encargado de presentar resultados ante el área de producción así como a la gerencia agrícola. De las labores que se realizan en el departamento, es el jefe de las áreas de: riego, mecanización y adecuación de tierras y diseño y drenaje agrícola en el cual está

incluida la Unidad de teledetección. Cada área tiene un coordinador, que a su cargo tiene supervisores encargados de ejecutar las labores y supervisar el cumplimiento de las labores de campo. En la figura 3, se muestra como está organizado el departamento de Ingeniería Agrícola dentro de las jefaturas de Ingenio Pantaleón.



Fuente: DPTO. Recursos humanos. Pantaleón S.A. 2016.

**Figura 3. Organigrama administrativo del Departameto de Ingeniería Agrícola.**

### **A. Jefe de Ingeniería Agrícola**

Es el encargado de administrar los recursos humanos y materiales para asegurar que las actividades de estudios de riego y drenaje se realicen con base en lo planificado, entre sus responsabilidades esta supervisar la elaboración del plan maestro de proyectos de riego

con los métodos más aconsejables y velar por las mejores prácticas de conservación y preparación de suelos.

### **B. Coordinador de diseño, drenaje y teledetección**

Es el encargado de liderar el equipo que diseña los campos de cultivo para el establecimiento del sistema de riego adecuado y que permita la evacuación de los excesos de agua, la logística de operación de la maquinaria y la cosecha en los bloques de manejo, de acuerdo a las solicitudes de trabajo de diseño realizados por los encargados de zona. Las actividades a planificar van enfocadas a: diseño de campo en renovación, diseño de drenaje, medición de fincas nuevas y remediación de fincas mediante estación total o percepción remota, diseño de campo, trazo de obras civiles, elaboración y actualización de planos temáticos, medición de áreas agregadas a fincas, mediciones de finca de los distintos proveedores y medir el desempeño de la Unidad de teledetección mediante metas y resultados.

### **C. Supervisor de teledetección**

El supervisor de teledetección es encargado de trabajar con las empresas que prestan servicio de percepción remota a Ingenio Pantaleón, con las imágenes obtenidas mediante percepción remota, las procesa e interpreta y da el producto final al encargado de zona.

Entre los productos están los mapas de las zonas del área de producción de caña con imágenes montadas de índices de vegetación como lo son el Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI) y el Índice Diferencial de Vegetación Normalizada (NDVI), utilizando este último también es encargado de generar semáforos de productividad y enviarlos a los jefes de zona y de región del área de producción.



## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

- A. Conocer la situación actual de la Unidad de teledetección del departamento de Ingeniería Agrícola de la Corporación Pantaleón, Pantaleón S.A, con la finalidad de detectar la problemática existente y proponer soluciones a la misma.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- A. Describir las actividades que realiza la Unidad de teledetección del departamento de Ingeniería Agrícola, de Ingenio Pantaleón.
- B. Registrar la capacidad de equipo útil, disponible con la que cuenta la Unidad de teledetección.
- C. Identificar el grado de aceptación de los semáforos de productividad por parte del área de producción del Ingenio Pantaleón.

## **1.4 Metodología**

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos en este diagnóstico se realizaron las actividades siguientes.

- A. Reconocimiento del área de estudio

El estudio de diagnóstico se realizó en la Unidad de teledetección del departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Pantaleón S.A.

Para la elaboración del diagnóstico se utilizaron métodos de recaudación de información como: entrevistas, revisión de literatura y la observación de las

actividades que se realizan en la Unidad de teledetección, con el fin de tener un panorama bastante amplio de los procesos que realiza esta Unidad.

#### B. Entrevista estructurada

Para llevar a cabo esta fase se entrevistó al personal de teledetección, dentro de los cuales se encuentran el supervisor y auxiliar de teledetección, obteniendo por medio de la entrevista información sobre elementos técnicos, administrativos, actividades y procedimientos realizados por estos.

#### C. Revisión de literatura

A manera de enriquecer el trabajo se recopiló toda la información posible para conocer más de los procesos y actividades que se realizan en la Unidad de teledetección.

Las fuentes consultadas fueron los instructivos que se encuentran archivados en el departamento de Ingeniería Agrícola (instructivos para realizar semáforos de productividad, mapas con imagen de Índice Diferencial de vegetación normalizada y mapas con imagen de Índice Diferencial de Agua Normalizada) en donde se explica por medio de diagramas las actividades que se realizan para llevar a cabo cada proceso.

Estos instructivos se elaboran con un formato de diagrama de flujo ya que debido a la certificación (ISO 9001 2000) con la que cuenta el Ingenio Pantaleón.

#### D. Reuniones con el personal del área producción

El desarrollo de las reuniones se dio con cada una de las regiones de producción que son 3; región oeste, región centro y región este. Su jefe de región y jefes de zona. Se realizó con la finalidad de indagar sobre la utilidad, precisión e interpretación de las

actividades que realiza la Unidad de teledetección, utilizando la técnica del diferencial semántico, esta técnica mide la actitud mediante una serie de adjetivos extremos, el sujeto selecciono entre las opciones de respuesta aquella que refleja su actitud en mayor medida.

#### E. Sistematización de la información

El diagnóstico se realizó de Febrero 2016 a Abril 2016, la información recaudada y obtenida se analizó y se documentó en las oficinas del departamento de Ingeniería Agrícola, dentro del casco del Ingenio Pantaleón S.A.

Esta consistió en organizar toda la documentación adquirida en cada una de las áreas, las reuniones con el área producción y las entrevistas, revisión de literatura y observación a la Unidad de teledetección, de acuerdo a las actividades que se desarrollan en el departamento de Ingeniería Agrícola, además un ordenamiento de las entrevistas que se realizaron a los jefes de zona y jefes de región.

#### F. Análisis de la información

Se realizó un análisis de la información obtenida con las entrevistas a los jefes de zona y a los jefes de región sobre los servicios que presta la Unidad de teledetección al proceso de producción y gerencia técnica agrícola.

Posterior al análisis se realizaron las conclusiones y recomendaciones que fueron de utilidad para plantear los servicios del ejercicio profesional supervisado.

## **1.5 Resultados**

### **1.5.1 Actividades de la Unidad de Teledetección**

Se atienden necesidades del departamento de aplicaciones aéreas, el cual es brindarle las imágenes satelitales y los polígonos de aplicación de tasa variada. Así mismo se trabaja en la correlación de datos de muestreo de porcentaje de humedad de cultivo de caña con data espacial captada por el satélite LANSAT 8, procesada por el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar (CENGICANÑA) y extraída la información por la Unidad de teledetección (Pantaleón, 2016).

Se están realizando mapas de semáforo de productividad, en los que se comparan lotes de toda el área productiva de Pantaleón con la misma características edafoclimaticas y con la misma variedad (Pantaleón, 2016).

La Unidad de teledetección del departamento de Ingeniería Agrícola de Ingenio Pantaleón indica que el semáforo de productividad, es una representación visual del procesamiento de los valores numéricos promedio del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada de cada lote, que compara los valores medios con lotes de sus mismas características edafoclimaticas. En el que expresa la vigorosidad, densidad y calidad del cultivo con los colores rojo menor vigorosidad, densidad y calidad del cultivo, el color amarillo representa un estado aceptable del cultivo y el color verde por encima de la media con los lotes que fue comparado.

### **1.5.2 Capacidad de trabajo de la Unidad de Teledetección**

A continuación se describe la capacidad de trabajo de la Unidad de teledetección.

- A. 1 automóvil: Pick up agrícola utilizado para dirigirse a las áreas en la que se realizan investigaciones o para trasladar personal de labores varias que apoyan a la Unidad de teledetección.

- B. Tres estaciones de trabajo: Las estaciones de trabajo son computadoras que cuentan con capacidad para el óptimo procesamiento de imágenes satelitales y de drones, así mismo con disco duro de 4 TB y memoria RAM de 32 GB.
- C. GPS: La Unidad de teledetección cuenta con cinco GPS de la marca garmin de la generación Etrex 20 X-Glonass de alta sensibilidad que son utilizados para direccionar muestreos para la obtención de las muestras.
- D. Personal: La Unidad de teledetección está conformada por un supervisor y un auxiliar, encargados de procesar las imágenes de drones y satelitales, coordinar las actividades que la Unidad realiza. No cuenta con personal propio de labores varias, los departamentos de aplicaciones aéreas y agronomía en conjunto proporcionan 12 peones de labores varias para la realización de los muestreos cada 16 días.
- E. Oficinas: Dentro del área de Ingeniería Agrícola son dos las oficinas que están destinadas para la Unidad de teledetección.

### **1.5.3 Semáforo de productividad**

Se evaluó el semáforo de productividad mediante la técnica del diferencial semántico, puesto que mide la actitud mediante una serie de adjetivos extremos, el sujeto seleccionó entre las opciones de respuesta aquella que refleja su actitud en mayor medida.

Se puede observar en el cuadro 2 que la mayor debilidad en los semáforos de productividad se encuentra en la representatividad del semáforo en la realidad de campo con un 69%, así mismo se observan datos atípicos en el entendimiento y la disponibilidad de los semáforos de productividad. Siendo razón la disponibilidad un correo escrito de forma incorrecta y el dato atípico de la interpretación se debe a que no asistió a la primera capacitación de los semáforos de productividad.

**Cuadro 2. Resultados a las entrevistas realizadas al área de producción, respecto a los semáforos de productividad que realiza la Unidad de teledetección.**

Semáforo de productividad						
Numero de Entrevistado	pregunta					Ideal
	Interpretación	Importancia	Disponibilidad	Realidad en campo	Útil para toma de decisiones	
	Escala					
	No entendible - Entendible	Sin importancia - Importante	Malo - Bueno	Malo - Bueno	Inútil - Útil	
1	7	6	5	5	5	7
2	5	7	6	6	6	7
3	6	6	7	3	4	7
4	6	7	6	5	5	7
5	6	7	6	5	6	7
6	<b>5</b>	7	6	6	6	7
7	7	7	7	5	7	7
8	6	7	7	6	7	7
9	6	7	5	5	7	7
10	6	6	<b>1</b>	4	5	7
11	7	7	<b>1</b>	3	7	7
Total	67	74	57	53	65	77
% del ideal	87%	96%	74%	<b>69%</b>	84%	100%

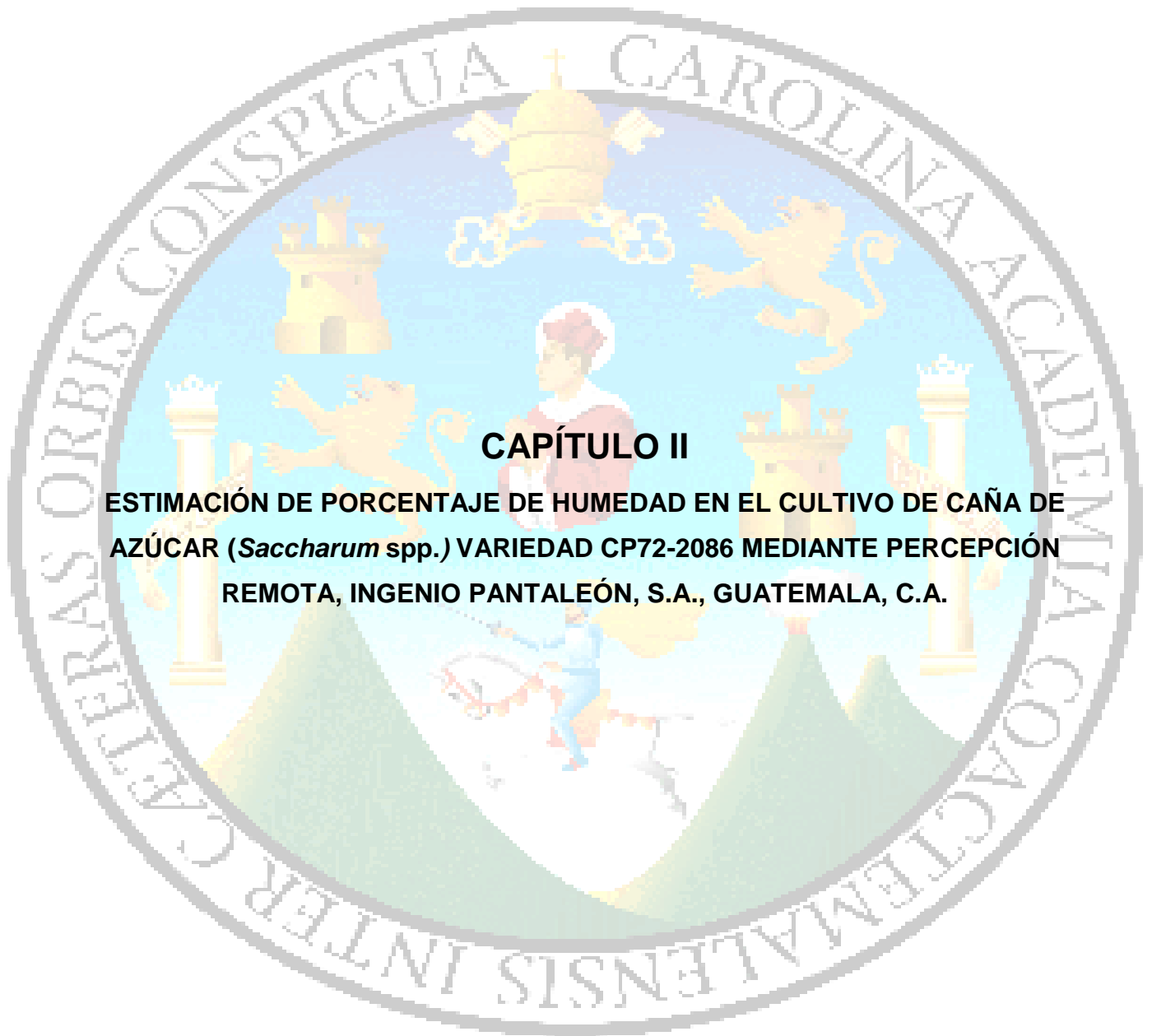
## 1.6 Conclusiones y recomendaciones

1. La Unidad de teledetección del departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Pantaleón se encuentra estructurado por el coordinador de diseño, drenaje y teledetección, supervisor de teledetección y auxiliar de teledetección, los cuales abarcan el trabajo de percepción remota de todas las zonas seleccionadas por el área de producción.
2. Entre las actividades que más destacan de la Unidad de teledetección se encuentra, identificar ubicación y cuantificación de áreas con problema de maleza, imágenes de los índices de vegetación; Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI), Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDVI) y los semáforos de productividad.
3. El equipo útil de trabajo de la Unidad teledetección se limita a un automóvil, 3 estaciones de trabajo y 5 GPS, lo cual se considera que es insuficiente para la cantidad de trabajo. Así mismo los dos encargados de teledetección no son la cantidad adecuada de personal que el área debe tener.
4. La menor aceptación del semáforo de productividad por parte del área de producción se encuentra en la representatividad del mismo, con un 69 % fue el valor más bajo que pertenece a la realidad del semáforo en la realidad del cultivo.
5. Realizar capacitaciones y gira de campo con el área de producción para trabajar en conjunto los semáforos de productividad. Y apoyar con las interpretaciones de los índices de vegetación.

## 1.7 Bibliografías

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala). 2008. Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2007-2008. Guatemala. 288 p.
2. Chuvieco, E. 1995. Fundamentos de la teledetección. 2 ed. Madrid, España. Ediciones Rialp. P. 25
3. Chuvieco, E. 1995. Fundamentos de la teledetección. 2 ed. Madrid, España, Ediciones Rialp. p. 27-28.
4. Díaz, L; Portocarrero, E. 2002. Manual de producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp. L.). Tesis Ing. Agr. Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. 148 p.
5. Danson, FM; Plummer, SE. 1995. Advance in environmental remote sensing. Use of spectral reflectance variatio to retrieve canopy biophysical character. Florida, Estados Unidos, Qihao Weng. 545 p.
6. Ezcara, I. 2012. Agricultura de precisión, elaboración de mapas de consumo y resbalamiento. Tesis Ing. Agr. España, Universidad Pública de Navarra. P. 8
7. FAOSTAT. 2002. Datos agrícolas: cultivos primarios caña de azúcar (en línea). Roma, Italia. Consultado 13 mar. 2016. Disponible en: <http://apps.fao.org/page/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&language=ES&hostname=apps.fao.org&version=default>
8. Gilabert, MA; Gonzales-Piqueras, J; García-Haro, J. 1997. Acerca de los índices de vegetación. Revista de Teledetección 8(1):1-10.
9. Richardson, R. 2016. Sensores remotos aplicaciones agrícolas (comunicación personal). Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala / Universidad de Santo Tomas Viña del Mar, Chile.
10. NASA, Science for a Changing World, US. 2013. Landsat ocho (8) (en línea). Consultado 17 mar. 2016. Disponible en <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>
11. Villatoro, B. 2016. Corrección atmosférica (entrevista). Escuintla, Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Coordinador Área de Agricultura de Precisión.





## **CAPÍTULO II**

**ESTIMACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) VARIEDAD CP72-2086 MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA, INGENIO PANTALEÓN, S.A., GUATEMALA, C.A.**



## 2.1 Presentación

La zona cañera bajo la supervisión de Ingenio Pantaleón actualmente cuenta con 54,000 hectáreas. Esta área se encuentra estratificada según la altitud en la que encontramos presente en las distintas zonas en las que Ingenio Pantaleón administra fincas, siendo esta un área extensa y estratificada en: estrato litoral, estrato bajo, estrato medio y estrato alto. Se ha optado por tener un control del área cultivada mediante percepción remota. Exceptuando únicamente el estrato alto, ya que por su topografía no es un área apta para actividades de teledetección.

La observación remota de la superficie de la tierra constituye el marco de estudios de la teledetección. Siendo esta una técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre, desde sensores instalados en plataformas espaciales, principalmente satélites o plataformas aéreas temporales, como lo son los drones. La interacción entre el terreno y el sensor es de carácter electromagnético, quiere decir que mediante longitudes de onda generadas por el sol, los sensores captan dichas longitudes y generan una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra.

Una de las principales prácticas agrícolas en la industria azucarera son los muestreos pre cosecha, una de las variables a determinar es la humedad presente en el cultivo, el muestro se realiza con la finalidad de tener un punto de partida, para la toma de decisiones, si debe aplicar o no madurante, para la obtención de un alto rendimiento al cosechar el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*).

En el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en lo que respecta a agricultura de precisión, es necesario tener a disponibilidad el contenido de humedad presente en la planta, para diferentes actividades dentro del área de producción, con la finalidad de manejar adecuadamente el punto óptimo de maduración del cultivo. Sin embargo siempre está presente la incertidumbre de los muestreos, especialmente la veracidad de los datos de las muestreas realizadas y la baja disponibilidad de los datos por la capacidad del laboratorio de procesar las muestras.

En la presente investigación se utiliza el marco de la teledetección y sistemas de información geográfico (SIG) como plataforma para la agricultura de precisión, se generó la metodología que permite elaborar un modelo que correlaciona el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) con la humedad presente en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*).

Realizar el modelo de correlación de NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado) mediante percepción remota con la humedad que presenta el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en el campo, nos da la disponibilidad de tener un muestreo de humedad que es capaz de estimar la humedad del dosel de la planta, representando en un 74 % la realidad del cultivo, en la zona de la variedad CP72-2086, teniendo veracidad de las áreas observadas, reduciendo costos y con disponibilidad de datos, con la limitante de la calidad de las imágenes, que en algún momento, se encontraran zonas con ausencia de valores numéricos. Por lo que el modelo presenta un ahorro potencial de U.S. \$134,753.55, siendo 19,389 hectáreas que se muestrean mediante percepción remota.

El modelo generado se recomienda utilizarlo como herramienta complementaria para la planeación de los muestreos de humedad. Utilizando como referencia un valor del Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI) menor a 0.4 expresa un porcentaje de humedad inferior a 71 %, indicando que el cultivo está por llegar a su maduración natural.

## **2.2 Marco conceptual**

### **2.2.1 Importancia del cultivo**

Para el área Centroamericana y para el resto de América el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es el más importante, exceptuando el actual y constante crecimiento del cultivo de banano (Díaz y Portocarrero, 2002). En total la producción en Centroamérica es de 395 mil hectáreas. Teniendo un área cultiva a nivel mundial de 47.7 por ciento Con un rendimiento promedio a nivel nacional de 84 toneladas/hectáreas de caña. Siendo

Guatemala el quinto país de mayor importancia en producción de caña de azúcar (FAOSTAT, 2002).

### **2.2.2 Agricultura de precisión**

Se define la agricultura de precisión como “la utilización y aplicación de las nuevas tecnologías, teniendo en cuenta la diversidad del suelo, el entorno ambiental y las necesidades de las plantas con el fin de gestionar y optimizar la aplicación de insumos (semillas, fertilizantes, fitosanitarios, riego, etc.) para obtener una producción rentable, de calidad y respetuosa con el medio ambiente” (García y Flego, 2008). La agricultura de precisión requiere de tecnologías como lo son; los sistemas globales de navegación RTK (Real Time Kinematic) o en español navegación cinética satelital en tiempo real y Trimble, imágenes satelitales o de sensores remotos, junto con los sistemas de información geográfica. Siento útil para hacer procesos más eficientes o tener mayor disponibilidad de información en el momento adecuado (Villatoro, 2016).

### **2.2.3 Importancia de la teledetección**

La teledetección se define como la técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre sin entrar en contacto con ella, sin embargo siempre es apropiado la realización de una inspección supervisada para rectificar la información obtenida mediante el sensor remoto (Chuvienco, 1996).

La teledetección es el precursor a un nuevo nivel de agricultura de precisión, teniendo como ventaja la obtención de información de grandes áreas en poco tiempo, creando modelos de predicción se llevaría al nivel de toma de decisiones mediante sensores remotos (Richardson, 2016).

### **2.2.4 Radiación electromagnética**

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.

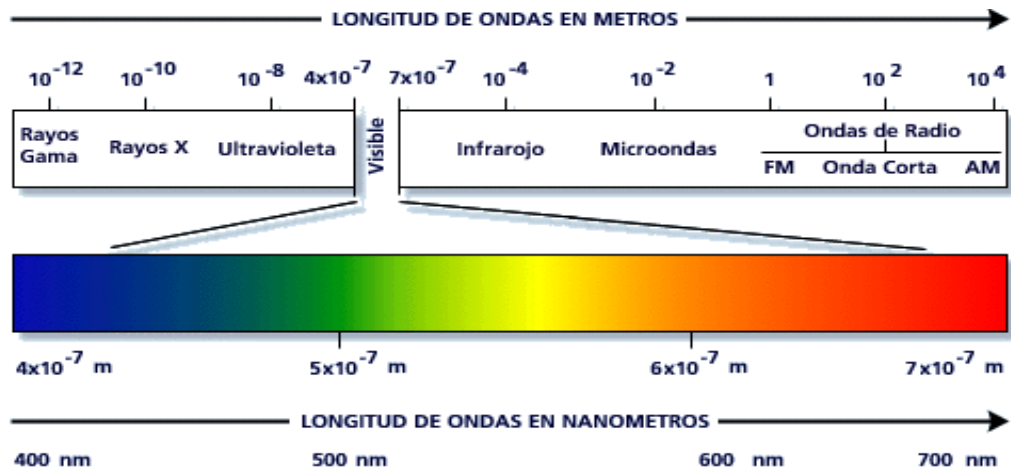
A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío (Universidad Miguel Hernández, 2002). La radiación electromagnética comprende un rango desde los rayos X y Gamma, hasta las ondas de televisión y radio, que van desde los 100 Armstrong hasta longitudes mayores de un metro respectivamente. El conjunto de longitudes de onda se conoce como espectro electromagnético (Universidad Miguel Hernández, 2002).

### **2.2.5 Espectro electromagnético**

El espectro electromagnético es el conjunto de longitudes de onda de todas las radiaciones electromagnéticas (Facts on Health and the Environment, 2001). Los rayos gamma son ondas de alta energía capaces de viajar a larga distancia a través del aire y son las más penetrantes, tienen las longitudes de ondas más cortas y las frecuencias más altas conocidas. Los rayos X su longitud de onda es más larga que los rayos gamma pero menores que la radiación ultravioleta, por lo tanto los rayos X tienen mayor energía que los rayos ultravioleta (Facts on Health and the Environment, 2001).

El espectro visible es la parte del espectro electromagnético capaz de ser detectados por la vista humana. Cubre los colores azul, verde y rojo, con longitudes de onda entre 0.4 a 0.5, 0.5 a 0.6 y 0.6 a 0.7 respectivamente (Facts on Health and the Environment, 2001), siendo el azul el que contiene más energía y el rojo el que menor energía tiene (Richardson, 2016).

Posteriormente al espectro visible se encuentra la radiación infrarroja (IR), para trabajar con esta banda se necesita de filtros ya que no se encuentra en el rango del espectro visible, siendo capaz de detectar los satélites las longitud de ondas de la radiación infrarroja se tiene la capacidad de trabajar con el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI). En la figura 4 se resalta las áreas del espectro electromagnético que son de utilidad en la teledetección, es decir la parte visible del espectro electromagnético.



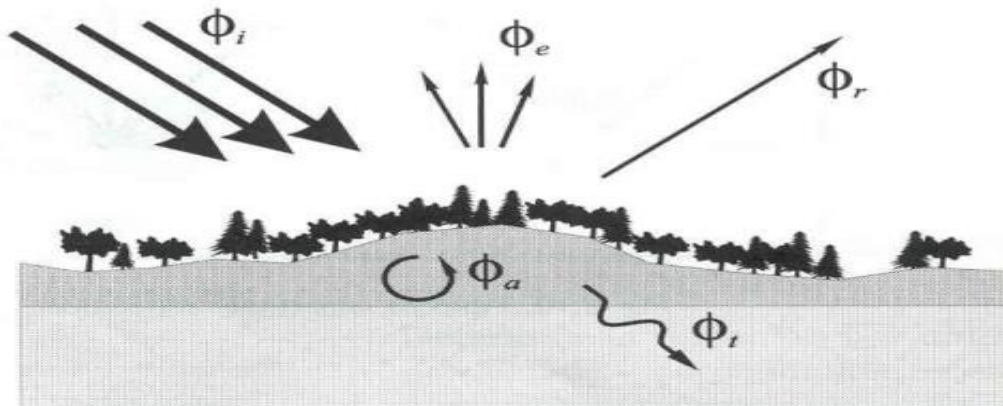
Fuente: Louis y Kleiner, Coastal Carolina University, (s.f.)

**Figura 4. Rango de longitud de onda del espectro visible dentro del espectro electromagnético.**

## 2.2.6 Interacción de la energía electromagnética con la materia

### A. Interacción macroscópica

Según el principio de conservación de la energía, cuando un flujo de energía electromagnética incide sobre un cuerpo, parte del flujo incidente se refleja, otro porcentaje del flujo incidente se absorbe y otra parte del flujo incidente se transmite (Tomás, 2007). En la figura 5, se aprecia la interacción de la energía electromagnética con la materia.



Fuente: Universidad de Jaen (s.f.)

**Figura 5. Interacción de la energía electromagnética con la materia.**

Entonces sí:

$$\Phi_i = \phi_r + \phi_a + \phi_t / \Phi_i = 1$$

Dónde:

$\phi$ : reflectancia (reflectividad)

$\alpha$ : absorbancia (absortividad)

$\tau$ : transmitancia (transmisividad)

Estas magnitudes son características de cada material, las magnitudes para cada material están en rango entre 0 y 1.

## **B. Reflectancia**

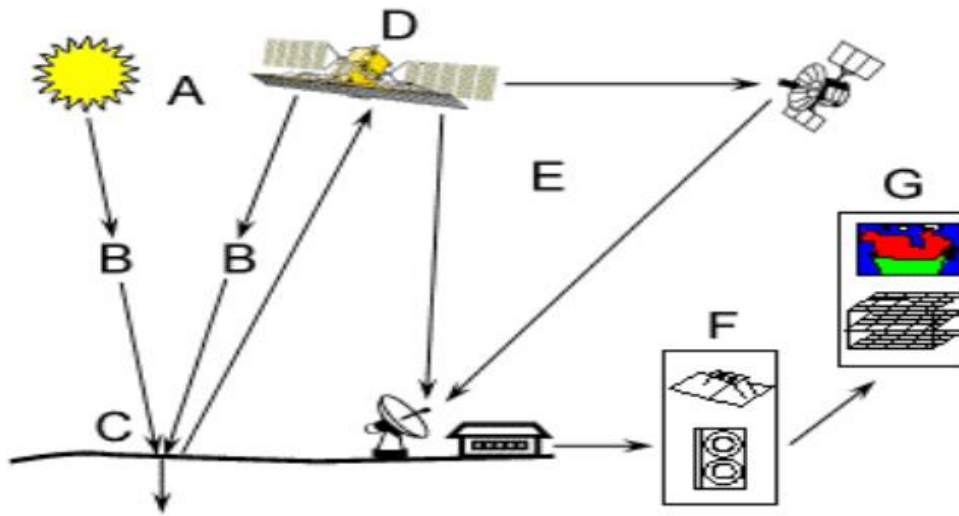
La reflectancia es la razón entre el flujo reflejado y el flujo incidente, este porcentaje de flujo reflejado es diferente para cada material (Fernández, 2007). Esta dispersión depende de la propia estructura de la hoja, de la composición de sus células y la presencia de cristales de almidón y su grado de humedad. En el infrarrojo próximo, las hojas con mayor desarrollo del parénquima lagunar producen mayor dispersión. Por esta razón las plantas de hoja ancha suelen ser más reflectantes en esa región espectral que las de hoja estrecha (Ormeño, 1991). En la longitud de onda en que se encuentra el infrarrojo medio, la pérdida progresiva de agua hace que se registre un incremento de la reflectancia en todo el intervalo espectral.

El contenido de agua del material vegetal influye en la reflectancia directa como indirectamente. De forma directa afecta la signatura espectral de las bandas de absorción y de forma indirecta la humedad depende de la turgencia celular ya que este factor determina la estructura interna de la hoja. También el estado nutritivo de las plantas influye en la reflectancia espectral. La característica principal que puede detectarse en relación con el vigor vegetal es el amarillamiento o clorosis y numerosos estados carenciales dan como resultado la clorosis disminuyendo de esta manera el valor de reflectancia (Baret, y Andrieu, 1994).



### 2.2.7 Elementos del proceso de teledetección

En el proceso de teledetección se involucra la percepción de energía emitida (Fuente de energía, luz solar) y el uso de sensores que producen imágenes (cámaras multispectrales montadas en satélites, drones o aviones), así como la interacción existente entre la radiación incidente y los objetos de interés (Martínez, 2005). En la figura 6 se ilustra la relación entre cada uno de los componentes del proceso de teledetección, el sol emite energía que rebota en el suelo y es captada por la cámara, la imagen es procesada y se genera el producto final.



Fuente: Agustín Lanero Parrado, Universidad de Oviedo, 2005.

**Figura 6. Elementos del proceso de teledetección: (A) fuente de energía, (B) radiación y la atmósfera, (C) interacción con la superficie terrestre, (D) sensor, (E) sistema de transmisión, recepción y proceso, (F) información transmitida, (G) Aplicación.**

- Fuente de energía (A): Se habla de teledetección pasiva cuando el flujo de energía es externo al sensor y se habla de teledetección activa cuando el flujo de energía es emitido por el sensor. Siendo la fuente de energía en la teledetección pasiva el sol (Martínez, 2005).

- Radiación y la atmosfera (B): La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro a través del espacio libre (Martínez, 2005).
- Interacción con la superficie terrestre (C): La superficie terrestre recibe la radiación electromagnética procedente de la fuente de energía y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas (Martínez, 2005).
- Sensor (D): El sensor tiene la misión de captar la energía reflejada por la superficie terrestre, la codifica y la envía al sistema de recepción (Martínez, 2005).
- Sistema de transmisión, Recepción y proceso (E): El sistema de recepción es el encargado de recibir la información transmitida por el sensor, el sensor graba la información y la distribuye para su interpretación (Martínez, 2005).
- Interpretación y análisis (F): La información transmitida por el sensor es recibida y analizada (Martínez, 2005).
- Aplicación (G): Se extrae la información que se necesita para la actividad a realizar, y el usuario encargado de la interpretación obtiene el producto final (Martínez, 2005).

### **2.2.8 Landsat ocho (8)**

Landsat 8 pertenece a una serie de satélites construidos y puestos en órbita por el departamento de la NASA Science for a changing world para la observación de alta resolución de la superficie terrestre. Están ubicados a 705 km de altura, con una inclinación de 98.2° respecto al Ecuador (Science for a changing world, 2013).

Las imágenes landsat 8, son imágenes satelitales de toda la tierra que se obtienen cada 16 días. Los datos recogidos por los instrumentos a bordo del satélite están disponibles

para descargar de forma gratuita en Glovis, [www.EarthExplorer.com](http://www.EarthExplorer.com) (Science for a changing world, 2013).

### **A. Sensores de landsat ocho (8)**

Landsat 8 lleva dos instrumentos: El Operativo Land Imager (OLI), este es un sensor que incluye bandas refinadas y el sensor infrarrojo térmico (TIRS) que proporciona dos bandas térmicas. (Science for a changing world, 2013).

Estos dos instrumentos constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 por 30 metros, estas son las dimensiones que tienen las Bandas 1 a la 7 y la banda 9. Banda 1 es útil para la costa y estudios marítimos. Lo que respecta la banda 2 a la banda 7 son valores numéricos pertenecientes al rango visible del espectro electromagnético, la banda 9 es utilizada para la detección de cirros.

La resolución espacial de la banda 8 (pancromática) es de 15 por 15 metros y es útil al momento de trabajar los índices de vegetación.

Bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas de la superficie más precisos y se recogen a 100 m (Science for a changing world, 2013).

En el cuadro 3, observamos la longitud de onda, encerrado en el cuadro rojo observamos la parte visible del espectro electromagnético, estos valores numéricos se muestran con la finalidad de tener la capacidad de interpretar las firmas espectrales de la vegetación, así como los índices de vegetación (Science for a changing world, 2013).

**Cuadro 3. Longitudes de onda, resolución y bandas utilizadas por landsat ocho (8) para el Índice Diferencial de Agua Normalizada.**

	<b>Bandas</b>	<b>Long de onda (micrómetros)</b>	<b>Resolución (metros)</b>
<b>Landsat 8</b>  El Operativo Land Imager (OLI) y El sensor infrarrojo térmico (TIRS)	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 a 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 a 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 a 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 a 0.67	30
	Band 5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 a 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 a 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 a 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 a 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 a 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 a 11.19	100 * (30)
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 a 12.51	100 * (30)

Fuente: Science for a changing world, 2013.

**B. Productos de landsat ocho (8)**

Todos los productos de datos de landsat ocho (8) son consistentes con sus todos, los productos de estos datos son estándar de nivel 1 (ortorectificadas) creadas usando landsat uno a landsat siete. Los productos obtenidos de landsat tienen las siguientes especificaciones (Science for a changing world, 2013).

Tratamiento: Nivel 1 T- Terreno Corregido

- Tamaño del pixel: El tamaño del pixel, es referente a la relación que se debe tener de la imagen, con el aérea real en la tierra.
- OLI bandas multiespectrales 1 a la 7 y la banda 9: 30 por 30 m.
- OLI banda pancromática 8: 15 \* 15 m.
- Bandas TIRS 10 y 11 : recogidos en 100 m, pero remuestreadas a 30 m para que coincida con OLI bandas multiespectrales

#### Características de los datos:

- Formato de datos Geo TIFF.
- Convolución cúbica (CC) remuestreo.
- Orientación hacia el norte (MAP)
- Proyecciones Universal Transversal de Mercator ( UTM ) (proyección estereográfica polar para escenas con una latitud centro superior o igual a -63.0 grados)
- Sistema Geodésico Mundial ( WGS ) 84
- Error circular 12 metros, 90 % de precisión global para OLI Error circular 41 metros, 90 % de precisión global para TIRS Valores de píxel de 16 bit.

#### **C. Relación espacial entre el tamaño de imágenes landsat y superficie terrestre**

- El tamaño del píxel, es referente a la relación que se debe tener de la imagen, con el aérea real en la tierra (Science for a changing world, 2013).
- OLI bandas Multiespectrales. De la banda 1 a la banda 7 y la banda 9, Incluyen bandas refinadas de la 1 a 6 así como la banda 7 y 9 que pertenecen al infrarrojo. La resolución espacial de estas bandas es de 30 por 30 metros. Esto indica que al analizar una imagen que contenga estas bandas, los píxeles de dicha imagen en la realidad es un área de  $900 \text{ m}^2$  es de decir 30 metros de alto \* 30 metros de ancho (Science for a changing world, 2013).
- OLI banda pancromática 8. La banda pancromática por píxel expresa un área de 15 por 15 m (Science for a changing world, 2013).

- Bandas TIRS 10 y 11. Las bandas 10 y 11 tienen datos recogidos en 100 por 100 metros, pero remuestreadas a 30 m para que coincida con OLI bandas multiespectrales (Science for a changing world, 2013).

### **2.2.9 Índices de vegetación**

Chuvienco E (1996) define la teledetección como la técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre sin entrar en contacto con ella. Y su finalidad es identificar y caracterizar los materiales de la superficie a partir de la radiación electromagnética procedente de la misma.

En general, cuando la radiación solar incide sobre un material, una parte de la misma se refleja en la parte más superficial del mismo y el resto se propaga por su interior. Allí, parte es absorbida y el resto sufre un proceso de dispersión en todas direcciones, de tal modo que parte de la energía dispersada emerge del material por la misma superficie por la que penetra, sumándose así a la radiación reflejada en la capa superficial. La suma de estas dos contribuciones constituye la radiación reflejada por el material y juntamente con la irradiancia, permite definir la reflectividad espectral o firma espectral del mismo (Gilabert, Gonzales, García, 1997).

Precisamente la relación existente entre la reflectividad y la naturaleza del material respecto a rasgos de absorción en función de los constituyentes químicos de los materiales es lo que hace posible el reconocimiento de materiales en teledetección (Chuvienco, 1996).

Al ser este tipo de absorción un proceso que está cuantificado, dichos rasgos se encuentran localizados en longitudes de onda concretas, dependiendo de la presencia de determinados componentes en el material, estando la intensidad de los mismos relacionada de forma directa con la cantidad de dicho componente (Danson y Plummer, 1995).

De esta forma los rasgos que son consecuencia de transiciones electrónicas como la presencia de hierro o la presencia de clorofila se localizan en la región visible del espectro, mientras que los debidos a transiciones de tipo rotacional como los iones  $\text{OH}^-$  se producen en la zona del infrarrojo. Es, por tanto, la distinta forma de interactuar la radiación electromagnética con la materia en función de la reflectancia la que determina la respuesta espectral de las superficies naturales y posibilita su estudio (Gilbert, Gonzales, García, 1997).

En general los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites o sensores remotos cuya función es realzar la cubierta vegetal en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros componentes como el suelo y la iluminación (Richardson, 2016). Entre los índices de vegetación, el más conocido es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), este índice permite estimar cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación por medio de sensores remotos instalados en plataformas espaciales (Chuvieco, 1996).

El NDVI es el cociente de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral individual, los valores de NDVI toman valores entre un rango de 0 a 1. Se deben de tomar datos de la banda roja que es la región en la que mayor absorción de clorofila fuerte tiene y de la banda infrarroja cercana que se encuentra en la región de alta reflectancia y poca absorción, ya que entre estas dos bandas hay diferencias marcadas en los valores de reflectancia permite interpretar los valores de NDVI siendo un valor más cercano a 1 indica mayor densidad y vigorosidad de vegetación y más cercano a 0 menor vigorosidad y densidad (Villatoro, 2016).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IRCercano} - \text{Rojo}}{\text{IRCercano} + \text{Rojo}} = \frac{\text{Banda 5} - \text{Banda 4}}{\text{Banda 5} + \text{Banda 4}}$$

Dónde:

IR cercano: Hace referencia a la banda del Infrarrojo cercano

Rojo: Hace referencia a la banda del rojo.

El Índice diferencial de agua normalizado (NDWI), es utilizado para medir la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo. Al igual que el NDVI los valores de reflectancia del NDWI oscilan entre -1 y 1, siendo 1 el valor con mayor porcentaje de humedad (Chuvieco, 1996).

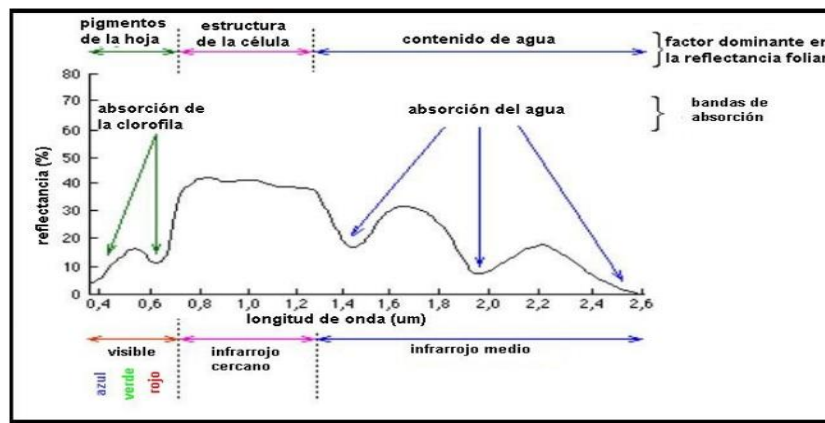
$$\text{NDWI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}} = \frac{\text{Banda 5} - \text{Banda 6}}{\text{Banda 5} + \text{Banda 6}}$$

Dónde:

NIR: Hace referencia a la banda del Infrarrojo cercano.

SWIR: Hace referencia a la banda del Infrarrojo medio.

En la figura 7 se observan la firma espectral general de la vegetación, la banda del infrarrojo cercano como la banda del infrarrojo medio se encuentran en la región de alta reflectancia de cubierta vegetal. Sin embargo la absorción de la energía electromagnética en la banda del infrarrojo cercano es insignificante, contrario a la banda del infrarrojo medio, como podemos observar en la banda 4, tiene la capacidad de absorción de la energía electromagnética ya que es capaz de absorber esta energía por la presencia de agua en la planta. Como resultado el NDWI es sensible a cambios en el contenido de agua líquida en la vegetación (Dr. Roberto Richardson, 2016).



Fuente. Haydee Karszenbaum, 2013.

**Figura 7. Firma espectral generalizada de la vegetación.**



### **2.2.10 Maduración del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.)**

El Cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) muestra durante su desarrollo cuatro etapas; Iniciación, macollamiento, elongación y maduración. La última etapa de maduración tiene una duración media de 45 días previo al corte (Castro y Montufar, 2004). En la maduración la planta de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) disminuye su ritmo de crecimiento y comienza a acumular sacarosa en el tallo. Según Buenaventura (1986), la concentración de sacarosa en el jugo depende de varios factores como la oscilación de la temperatura entre el día y la noche (15 °C), la humedad del suelo o precipitación (30 mm a 100 mm mensuales), y la luminosidad (11.5 a 12.5 horas luz) entre 4 y 6 meses antes de la cosecha.

#### **A. Relación del porcentaje de humedad con la maduración del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.)**

El desarrollo de las cepas, abarca desde la emergencia o rebrote hasta que el campo cierre aproximadamente a los 7 meses de edad. En esta etapa la humedad de la planta debe mantenerse arriba de 85%. Desde el cierre del cañal hasta el crecimiento vegetativo completo, con 14 a 15 hojas verdes, la humedad recomendable es de 78 % a 80 %, en esta etapa el nitrógeno inicia su agotamiento. La etapa de maduración inicia tres meses antes del corte teórico, la planta tiene en este momento de 8 a 9 hojas verdes y tanto la humedad como el nitrógeno de la sección 8 a 10 del tallo deben disminuir y alcanzar valores entre 73 a 75 y 0.25 % respectivamente (Chaves, 1982).

Cabe mencionar que no todas las variedades maduran en la misma época aunque sean influenciadas por los mismos factores, razón por la cual se ha establecido una clasificación de variedades de acuerdo a su madurez; variedades de madurez precoz, con ellas se inicia la zafra. Variedades de madurez intermedia, constituye la materia prima que mantiene la mayor parte de la zafra y variedades de madurez tardía, son las que más tiempo requieren para llegar a la madurez, son las que se cortan por ultimo en la zafra.

### 2.2.11 Áreas cultivadas con la variedad CP72-2086

En la cuadro 4 se observa que de toda la zona cañera, Pantaleón tiene el 35.4% de la zona sembrada con la variedad CP72-2086 siendo esto 19,389 hectáreas de 54,914 hectáreas que tiene a cargo, que representa el 35% del total de la caña bajo supervisión de Ingenio Pantaleón. La investigación se llevara a cabo exclusivamente en las fincas propias de Ingenio Pantaleón sembradas con la variedad CP72-2086 siendo esta variedad la que mayor área cubra de las fincas a cargo de Ingenio Pantaleón.

**Cuadro 4. Composición varietal de la Agroindustria Azucarera de Guatemala para la zafra 2015-2016.**

Variedad	Agroindustria		La Unión		Magdalena		Madre Tierra		Pantaleón		Palo Gordo		Santa Ana		San Diego		Tululá	
	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%
CP72-2086	71,304	33.4	9,603	48.2	13,524	27.1	7,432	41.9	19,389	35.4	3,036	29.7	8,748	23.2	7,001	46.4	2,570	32.7
CP73-1547	32,919	15.4	2,223	11.2	5,910	11.8	4,519	25.5	6,486	11.8	2,467	24.2	7,021	18.6	2,854	18.9	1,437	18.3
CP88-1165	29,655	13.9	1,318	6.6	4,426	8.9	1,239	7.0	10,324	18.8	957	9.4	8,331	22.1	2,367	15.7	693	8.8
CG98-78	15,646	7.3	1,469	7.4	2,095	4.2	1,439	8.1	3,331	6.1	872	8.5	3,331	8.8	1,178	7.8	1,931	24.6
Mex79-431	9,577	4.5	826	4.1	3,304	6.6	305	1.7	2,286	4.2	1,191	11.7	1,385	3.7	86	0.6	194	2.5
CG98-10	8,119	3.8	70	0.3	1,766	3.5	700	4.0	501	0.9	278	2.7	4,291	11.4	513	3.4		
SP71-6161	4,169	2.0	146	0.7	3,344	6.7			499	0.9			181	0.5				
SP79-1287	4,032	1.9			2,973	6.0	26	0.1	1,033	1.9								
CG98-46	3,924	1.8	217	1.1	1,292	2.6	68	0.4	617	1.1	87	0.9	1,326	3.5	314	2.1	3	0.0
RB73-2577	3,860	1.8			2,670	5.3	114	0.6	206	0.4			863	2.3	7	0.0		
CG00-102	3,036	1.4	730	3.7	46	0.1	42	0.2	1,181	2.2			723	1.9	232	1.5	82	1.0
Otras	27,099	12.7	3,332	16.7	8,593	17.2	1,840	10.4	8,961	16.3	1,325	13.0	1,558	4.1	547	3.6	943	12.0
<b>Total</b>	<b>213,327</b>		<b>19,933</b>		<b>49,931</b>		<b>17,725</b>		<b>54,814</b>		<b>10,215</b>		<b>37,758</b>		<b>15,098</b>		<b>7,854</b>	

Fuente: CENGICAÑA. 2015.

## 2.3 Objetivos

### 2.3.1 Objetivo General

- A. Generar un modelo que permita estimar el porcentaje de humedad del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) obteniendo información de una imagen satelital landsat ocho (8) en la variedad CP72-2086 a la edad de 9 a 10 meses teniendo la veracidad de que el valor numérico obtenido por el Índice Diferencial de Agua Normalizado no está influenciado por efecto del suelo.

### 2.3.2 Objetivos Específicos

- A. Determinar el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) que presenta la variedad CP72-2086.
- B. Validar el modelo de predicción de porcentaje de humedad en la planta de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la variedad CP72-2086.
- C. Cuantificar el ahorro potencial, comparando el método convencional de muestreo de humedad y el método del Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI).

## 2.4 Hipótesis

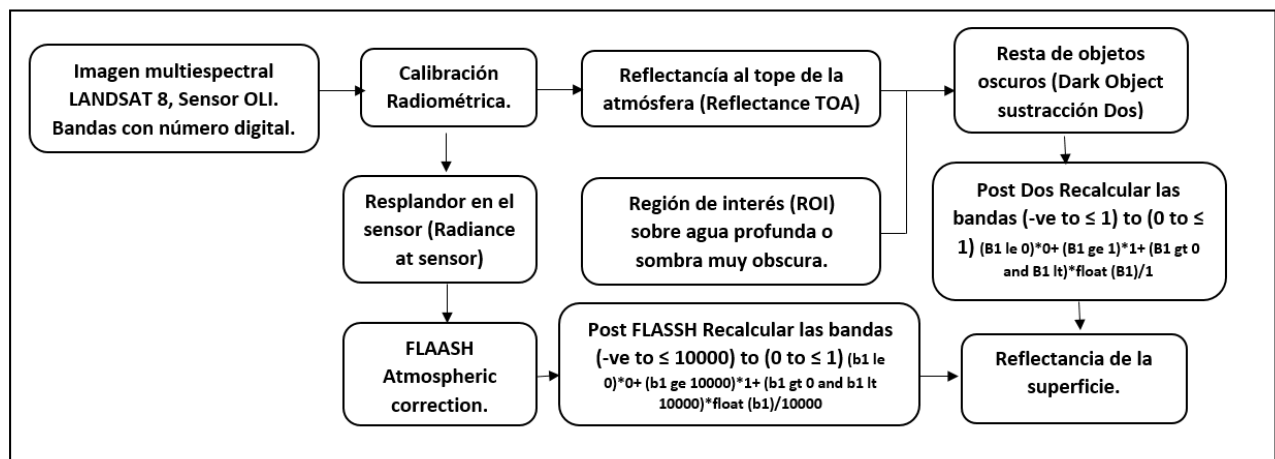
El modelo de estimación de porcentaje de humedad, utilizando imágenes del Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI), es capaz de determinar el porcentaje de humedad presente en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) variedad CP72-2086 mediante un valor obtenido utilizando percepción remota, en la edad de 9 a 10 meses del cultivo, con la veracidad de datos no influenciados por el suelo.

## 2.5 Metodología

### 2.5.1 Descarga y procesamiento de imagen satelital

Para la estimación de porcentaje de humedad en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), se han utilizado imágenes satelitales pertenecientes a la serie landsat 8. Estas imágenes se encuentran liberadas y disponibles en los servidores de USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) cada 15 días. Link de descarga: [www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov) (USGS, 2016).

La Unidad de Agricultura de Precisión del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña (CENGICAÑA) se encargó de procesar la imagen descargada. A la imagen descargada, se realizó la corrección atmosférica, figura 8, mediante la metodología Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) Atmospheric correction. El método FLAASH Atmospheric correction de acuerdo con Elsaid (2015) para las imágenes landsat ocho (8), presenta los mejores resultados (Villatoro, 2016).



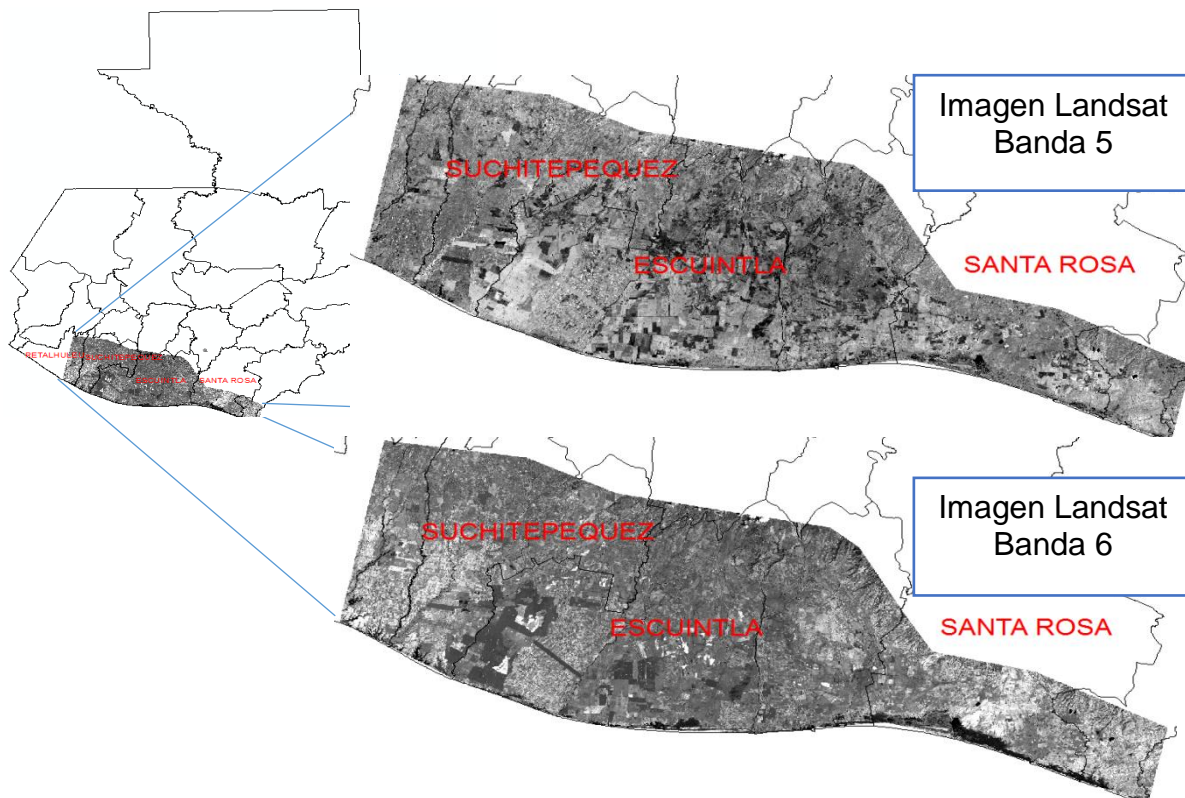
Fuente: Elsaid, 2015.

**Figura 8. Proceso para realizar la corrección atmosférica de las imágenes landsat ocho (8).**

En la figura 9 se observa que la banda 5 representa la parte en la que mayor reflectancia, se aprecia en la firma espectral de la vegetación y la banda 6 la que es capaz de captar el agua en la vegetación.

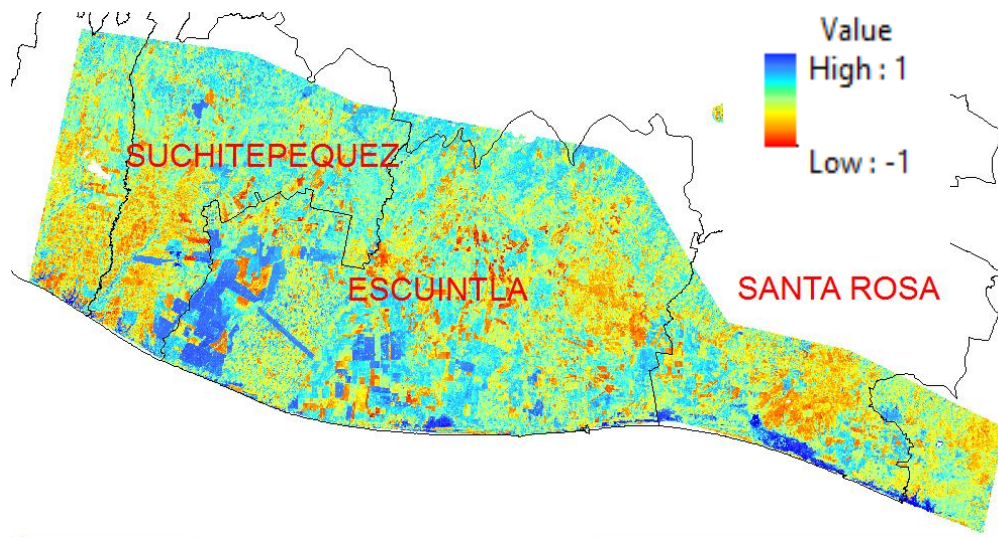
Para generar la imagen observada en la figura 10 del Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI), se realizó en el software Arcgis, con la caja de herramienta (toolbox), se utilizó la herramienta map algebra, que dio la posibilidad de realizar la ecuación de las bandas necesarias para generar la imagen NDWI, consiste en que cada pixel de la imagen de la banda 5 se resta con cada pixel de la imagen de banda 6, luego se suman para finalizar con la diferencia entre las dos operación. Para generar la imagen NDWI se utilizó la ecuación establecida por (Gao, 1996).

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} = \frac{Banda\ 5 - Banda\ 6}{Banda\ 5 + Banda\ 6}$$



Fuente: USGS, 2016.

**Figura 9. Banda cinco y Banda seis de imagen landsat procesada, por Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICAÑA), Región de la Costa Sur de Guatemala.**



Fuente: Ingenio Pantaleón, 2016.

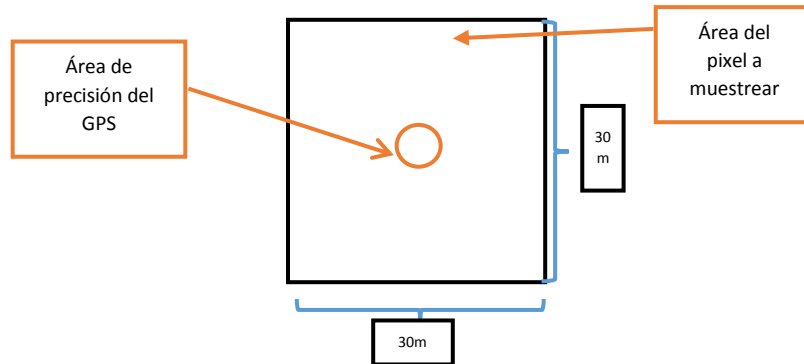
**Figura 10. Imagen del Índice Diferencial de Agua Normaliza (NDWI), Región de la Costa Sur de Guatemala.**

### 2.5.2 Selección y obtención de coordenadas de áreas de muestreo

La resolución temporal de Landsat ocho (8) es quincenal, cada 15 días se seleccionaron 25 píxeles (30 \* 30 m) de diferentes valores de NDWI para diferentes intervalos de humedad dentro del cultivo. Además se tomaron las coordenadas del centro del píxel. El ensayo se enfocó principalmente en encontrar una correlación entre el índice NDWI y el porcentaje de humedad del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) para la variedad CP72-2086. En base a la ubicación de los píxeles seleccionados, previo a los muestreos se indagó sobre posibles actividades propias del manejo del cultivo principalmente riego y aplicación del pre-madurante, que podrían provocar alteraciones en la humedad de las plantas. Sin embargo debido al error humano, siempre habían píxeles que se eliminaban puesto a que el registro de actividades no se actualizaba diariamente y se procedía a eliminar esas muestras. El ensayo se enfocó únicamente en cañaverales con edades de 9 a 10 meses, ya que previo a estos meses el cultivo no ha cerrado completamente, lo que provocaría una alteración en los valores numéricos obtenidos por Landsat ocho (8), ya que el valor de reflectancia del suelo difiere del valor de reflectancia del cultivo, provocando alteraciones en el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI).

### 2.5.3 Muestreo de campo

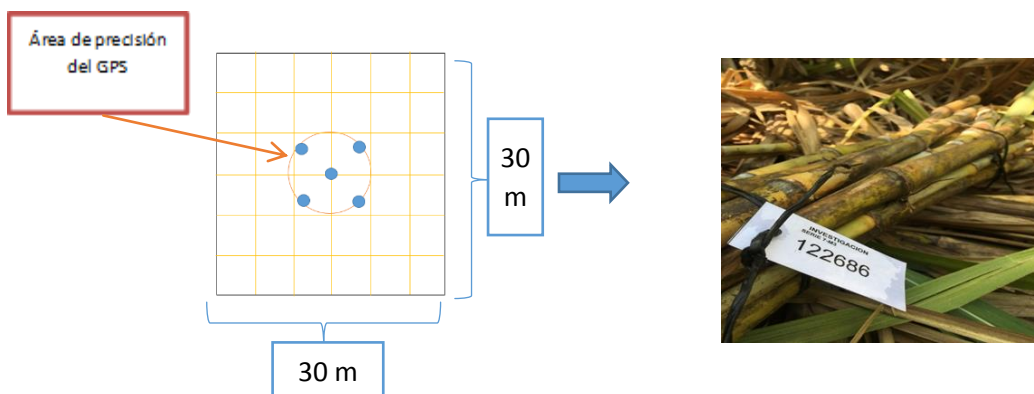
En coordinación con el departamento de Agronomía utilizando GPS navegador (precisión 5 m) se buscaron las coordenadas de los 25 pixeles propuestos por la Unidad de teledetección para el muestreo de humedad. La precisión del GPS navegador nos da la seguridad que estamos dentro del pixel deseado de acuerdo a la coordenada buscada, lo podemos observar en la figura 11.



Fuente: Departamento de cosecha Ingenio Pantaleón, 2016.

**Figura 11. Diagrama de interpretación de la posición de donde fueron extraídas las coordenadas de los puntos para los muestreos.**

En la figura 12 se presenta la referencia del muestro, Tomando como referencia el centro del píxel se obtuvieron 5 muestras en diferentes puntos en un radio no mayor de 5 metros a partir del centroide. En estas cinco muestras realizadas por píxel, se tomaron 5 tallos y un mamón, dividiendo en 3 segmentos cada tallo. El tipo de muestreo es establecido por el área de Cosecha de Ingenio Pantaleón, se utilizó el tipo de muestreo convencional, así se estableció que la correlación fuera lo más representativa a la realidad.



Fuente: Departamento de Cosecha Ingenio Pantaleón, 2016.

**Figura 12. Ubicación de la toma de muestras vegetal, para obtención de humedad, dentro de píxel seleccionado en los muestreos y presentación final de la muestra vegetal para obtención de humedad.**

#### **2.5.4 Análisis de laboratorio**

El método de obtención de porcentaje de humedad de la planta de caña de azúcar en Ingenio Pantaleón, es mediante la desfibradora. La muestra de desfibra en su totalidad y se toma una muestra de 100 g, los cuales se llevan a la estufa hasta peso constante donde y se obtiene la materia seca, otros 500 g se someten a una presión de 13.600 lb/min por minuto en la prensa hidráulica para la extracción del jugo al que se le analizan sus componentes en forma directa. Con los datos anteriores, se calcula mediante fórmulas varios parámetros como; porcentaje de humedad de la caña, porcentaje de jugo absoluto de la caña, porcentaje de fibra de la caña, porcentaje de azúcar de la caña y la relación Pol/fibra (Cantidad de jugo por cantidad de fibra).

#### **2.5.5 Análisis e interpretación de datos obtenidos y modelos generados**

Los resultados del análisis de laboratorio los trasladaron a la Unidad de teledetección, se unió la información espacial, obtenida de la imagen del Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI) con la información obtenida en campo, analizada en laboratorio. Obtenido el porcentaje de humedad, se procedió a realizar un análisis del índice BIC (Criterio de Información Bayesiano). En los valores observados intentamos explicar la relación de una variable métrica (dependiente) en función de variables explicativas de cualquier tipo.

El modelo que se propone, como su propio nombre indica, es lineal. Sin embargo podemos utilizar esta técnica en situaciones no lineales. Recurriendo a la transformación de datos iniciales.

Por tanto, la forma general del modelo lineal múltiple estimado es, según Manuel Arriaza Balmon en la guía práctica de análisis de datos.

$$Y = (b_0) + (b_1)(X_1) + (b_2)(X_2) + \dots + (b_n)(X_n)$$



Dónde:

Y = es el valor estimado de la variable dependiente

X = Los valores observados de las variables explicativas

b = Valores generados partiendo de la recolección de datos

### A. Supuestos del modelo de regresión lineal

Los aspectos a tener en cuenta a la hora de validar un modelo de regresión son:

1. Tipo de variable. La variable dependiente debe ser de naturaleza métrica y no limitada (existen casos para todos los posibles valores de la variable dependiente).
2. Variabilidad de las variables independientes. La varianza de las variables independientes no es cero. Por tanto, no tiene ningún sentido incluir como variable explicadora una cuyo valor es el mismo para todos los casos.
3. Tamaño de la muestra. El número de observaciones es superior al número de variables explicativas.
4. No existencia de multicolinealidad. Las Variables explicativas no tienen un grado de correlación significativo.
5. Supuestos relativos a la distribución de los residuos estandarizados según Manuel Arriaza Balmon.
  - a. La media de los residuos es cero. Este supuesto implica que el valor esperado de Y,  $E(y)$ , para un conjunto de valores del vector X es  $E(y) = (b_0) + (b_1)(X_1) + (b_2)(X_2) + \dots + (b_n)(X_n)$

- b. La varianza de los residuos es constante (residuos homocedásticos) para cada nivel de las variables explicativas la varianza de los residuos es constante, esto es, los residuos son homocedásticos. Si se cumple este requisito nos encontramos ante un problema de heterocedasticidad.
- c. Independencia de los errores. Este supuesto implica la no existencia de auto correlación entre los residuos.
- d. Distribución de los residuos. Se asume que dicha distribución es normal

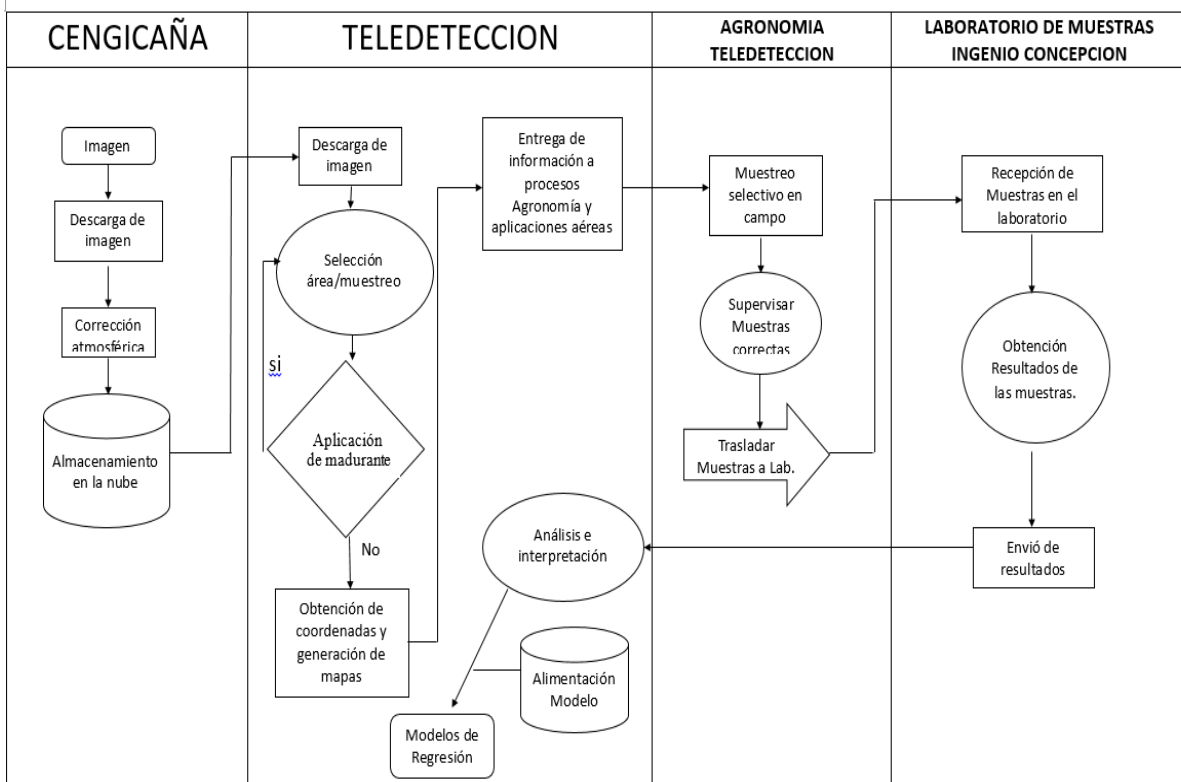
### **2.5.6 Validación del modelo de regresión lineal múltiple**

Para aceptar o rechazar el modelo anterior fue necesario comprobar que se cumplen los supuestos del análisis de regresión. Se comenzó con el estudio de casos con valores extremos, Como regla general podemos decir que nuestro modelo es inaceptable si se da alguna de las circunstancias siguiente (Field, 2000), más del 1 % de los casos tienen residuos estandarizados cuyo valor absoluto es mayor a 2.5 para una significancia de 1% y más del 5% de los casos tienen residuos normalizados cuyo valor absoluto es mayor que 2.0 para una significancia de 5%. Posterior se analizó los supuestos de no multicolinealidad así como la gráfica de los residuos versus los predichos para la heterocedasticidad.

### **2.5.7 Diagrama de flujo metodológico del modelo de estimación de porcentaje de humedad.**

En la figura 13 se presenta el diagrama de proceso, que indica paso a paso el papel que juega cada departamento de Ingenio Pantaleón, el laboratorio de Ingenio Concepción y el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICAÑA). El área de Agricultura de Precisión de CENGICAÑA es el encargado del procesamiento de las imágenes satelitales. Posterior se describe la planificación del muestreo por parte de la Unidad de teledetección de Ingenio Pantaleón, el muestreo es realizado por personal del departamento de Agronomía y la Unidad de teledetección. Finalizando el proceso con el

análisis de las muestras en el laboratorio de Concepción. Y el análisis de datos por parte de la Unidad de teledetección.



Fuente: Departamento de Ingeniería Agrícola, Pantaleón, 2016.

**Figura 13. Diagrama de proceso para la obtención del modelo de estimación de humedad en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*).**

## 2.6 Resultados y discusión

Para la estimación del NDWI se han utilizado imágenes de los sensores Operativo Land Imager (OLI) y el sensor infrarrojo térmico (TIRS), que están a bordo del satélite Landsat ocho (8). Del periodo de 11 de Enero de 2016 a 15 de Mayo de 2016, de un total de 10 imágenes, 4 fueron desechadas por no ser representativas de las condiciones impuestas para la elaboración de muestreos, que son; (1) Imagen con poca nubosidad o nula, (2) lotes con la variedad CP72-2086 de edad de 10 meses, (3) ausencia de precipitación en los píxeles a muestrear después de la captura de la imagen, (4) no aplicación de riego en los píxeles a muestrear (5) no estar aplicados con madurante. De esta manera se redujo considerablemente el error de estimación del NDWI. Las fechas de las 6 imágenes así seleccionadas son; 11 Enero de 2016, 30 de Enero de 2016, 15 Febrero 2016, 29 Febrero 2016, 15 Marzo 2016 y 31 Marzo 2016.

En el cuadro 5 se presenta el análisis de los criterios de información bayesiano (BIC) para regresiones lineales y regresiones no lineales para los valores del cuadro 8A. El mejor valor del criterio bayesiano pertenece al modelo de regresión lineal de grado 3, además presenta en el análisis del error cuadrático medio (ECM) el menor porcentaje de variación. Por lo cual el modelo se seleccionó para el análisis estadístico.

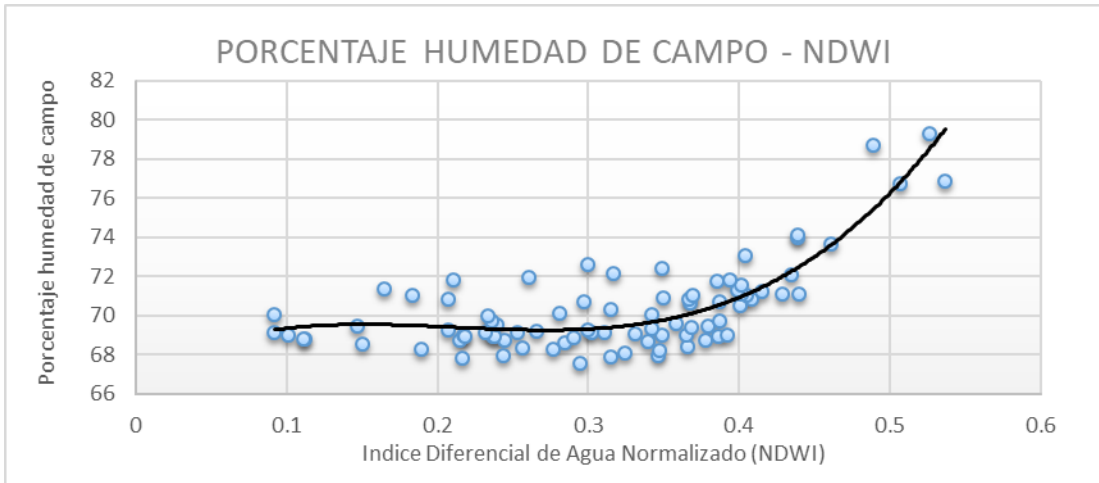
**Cuadro 5. Análisis de criterios de información bayesiana.**

Regresión	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECM	AIC	BIC
Análisis de la regresión lineal	85	0.35	0.34	3.63	348.5	355.83
Análisis de la regresión lineal grado 2	85	0.64	0.63	2.07	300.19	309.96
Análisis de la regresión lineal grado 3	85	0.70	0.69	1.85	286.51	298.72
Análisis de la regresión lineal grado 4	85	0.71	0.69	1.91	286.74	301.4

Regresión	N	CMError	sigma	AIC	BIC
Análisis de la regresión exponencial	85	3.33	1.83	347.49	354.81
Análisis de la regresión Logística	85	3.33	1.82	348.39	358.16

En la figura 14 se presenta la regresión polinomial, generada con valores de las 6 imágenes satelitales de las que se obtuvieron valores del Índice Diferencial de Agua Normalizada NDWI, para la generación del modelo.



**Figura 14. Regresión polinomial grado 3. Datos numéricos obtenidos del índice diferencial de agua normalizado (NDWI) de seis imágenes satelitales Landsat.**

En el cuadro 6 se muestran las estadísticas de regresión, así como el análisis de la varianza del modelo polinomial generado.

**Cuadro 6. Análisis de regresión y análisis de la varianza del modelo de regresión polinomial seleccionado para generar el modelo.**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
HM	85	0.70	0.69	1.85	286.51	298.72
Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
const	67.06	1.95	63.18	70.95	34.34	<0.0001
NDWI	40.37	21.94	-3.28	84.02	1.84	0.0694
NDWI <sup>2</sup>	-208.12	75.64	-358.63	-57.62	-2.75	0.0073
NDWI <sup>3</sup>	328.36	81.07	167.06	489.67	4.05	0.0001
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	300.87	3	100.29	63.10	<0.0001	
NDWI	149.78	1	149.78	94.24	<0.0001	
NDWI <sup>2</sup>	125.01	1	125.01	78.65	<0.0001	
NDWI <sup>3</sup>	26.08	1	26.08	16.41	0.0001	
Error	128.74	81	1.59			
Total	429.61	84				

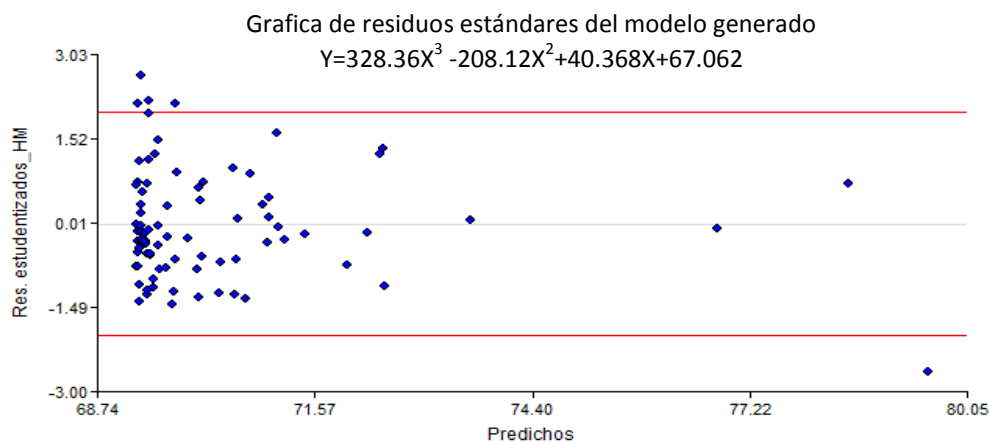
Modelo:

$$Y=328.36X^3-208.12X^2+40.368X+67.062$$

Dónde:

X = Valores obtenidos de imagen satelital del Índice Diferencial de agua normalizada NDWI.

El modelo generado con la regresión polinomial,  $Y=328.36X^3 -208.12X^2+40.368X+67.062$  nos muestra que las imágenes satelitales del Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI), según el R2 ajustado, representa en un 69 % a los valores de humedad obtenidos en el campo y analizados en el laboratorio. Con un nivel de significancia del 5 %, se obtuvieron valores de P-valor en el análisis de varianza menores a 0.05, los cuales indican que estos datos si se ajustan a la realidad y son representativos para el modelo. Comprobamos que el modelo de estimación de porcentaje de humedad con las imágenes del Índice Diferencial de Agua Normalizada, es capaz de determinar el porcentaje de humedad presente en la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) mediante un valor obtenido utilizando percepción remota. En la figura 15 se presenta la gráfica de residuales para una significancia del 5 %, en la cual se nota la existencia de datos atípicos, los cuales influyen en los valores de humedad al ser estimados.



**Figura 15. Plot de residuales - valores predichos.**

El análisis de residuales del modelo polinómico  $Y=328.36X^3 -208.12X^2+40.368X+67.062$ , en la figura 15 se observan 6 datos atípicos que corresponden a los valores de NDWI que presentaron la máxima variación en el análisis de residuales. Estando su máxima variación en el valor correspondiente a NDWI de 0.2992, el modelo generó un valor de humedad teórica de 69.30 %, siendo 72.63 % lo obtenido en el análisis de laboratorio teniendo una variación del 3.33 % de humedad siendo el residuo estandarizado de 2.66.

Se observa en el apartado de los anexos del capítulo II, en el cuadro 11A, el análisis de residuales generado a partir del modelo polinomial obtenido en el cuadro 6. El valor máximo de los residuos estandarizados es 2.76 y el valor mínimo de los residuos estandarizados es -2.65. Obtenemos el valor absoluto de los residuos que es 0.11, inferior a 2.0 por lo que según este criterio, el modelo  $Y=328.36X^3 -208.12X^2+40.368X+67.062$  es adecuado. Sin embargo basándose en la teoría de (Field, 2000) como regla general para una estimación decimos que el modelo  $Y=328.36X^3 -208.12X^2+40.368X+67.062$  es inaceptable ya que se da la circunstancia de más del 5 % de los casos tienen residuos estandarizados cuyo valor absoluto es mayor que 2.0 para un nivel de significancia del 5 por ciento.

En el cuadro 7 observamos los 6 datos extremos de 85 datos que encontramos en el análisis de residuales en el cuadro 10A en los anexos del capítulo II, perteneciente a la regresión polinomial del modelo  $Y=328.36X^3 -208.12X^2+40.368X+67.062$ . Siento el 7 % de los casos que tienen residuos estandarizado mayor a 2.

**Cuadro 7. Valores extremos del análisis de residuales obtenidos a partir del modelo  $Y=328.36X^3 -208.12X^2+40.368X+67.062$ .**

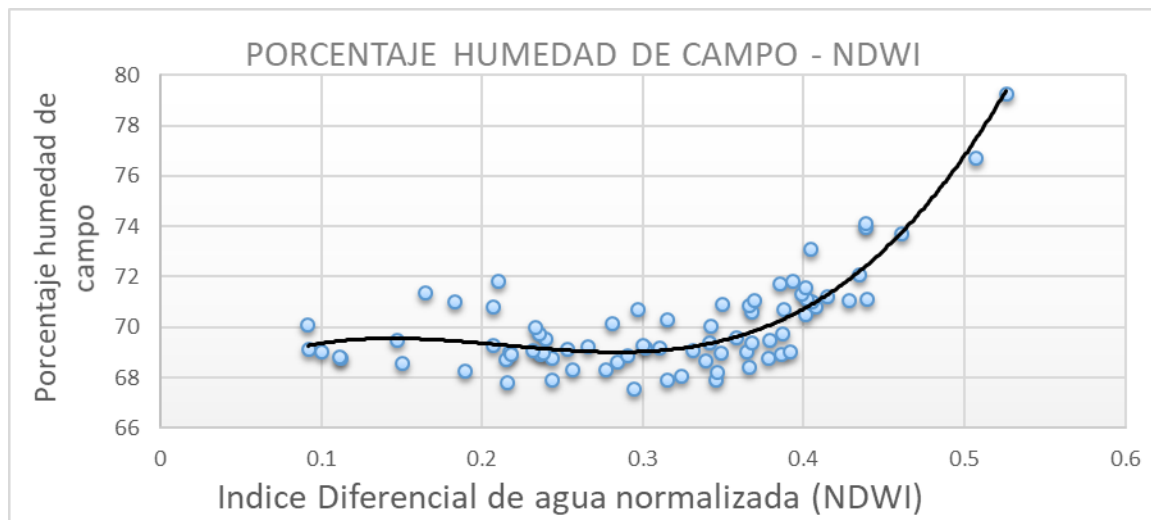
Observación	Pronostico para Y	Residuos modelo Polinomial grado 3	Residuos Estándares
73	69.25	2.69	2.16
75	69.40	2.75	2.2
76	69.75	2.68	2.15
77	69.30	3.33	2.66
83	79.53	-2.64	-2.65
84	75.42	3.30	2.76

En el cuadro 8 se analizan los criterios de información bayesiano (BIC) y el error cuadrático medio (ECM) para el nuevo modelo, en el que se han desechado los datos extremos, comparándolo con el mejor resultado de los modelos iniciales.

**Cuadro 8. Análisis de criterios de información bayesiano para el nuevo modelo.**

Regresión	N	R	R Aj	ECM	AIC	BIC
Análisis de la regresión lineal grado 3	85	0.70	0.69	1.85	286.51	298.72
Análisis de la regresión lineal grado 3 nuevo	79	0.75	0.74	1.06	228.3	240.16

En la figura 16 se presenta la regresión polinomial, generada con las 6 imágenes satelitales de las que se obtuvieron valores del Índice Diferencial de Agua Normalizada NDWI, para la generación del modelo, se han desechado los valores considerado extremos en el análisis de residuales.



**Figura 16. Regresión polinomial grado 3 generada.**

Se puede observar en la figura 16, según el modelo de estimación de porcentaje de humedad en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para un valor de 0.4 del Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI), se dice que el cultivo llegó a su maduración natural, representa que hay un balance entre la cantidad sintetizada y la cantidad



hidrolizada de sacarosa, mediante la actividad de invertasas acidas localizada en el apoplasto y la vacuola de las células de la planta e invertasas neutras ubicada en el citoplasma de los tejidos maduros. En este punto, el cultivo cumple con los parámetros tecnológicos de 80 % a 85 % de pureza de jugo, porcentaje Pol caña entre 14.4 y 15.3 y azucares reductores menores a 1 %.

En el cuadro 9 se muestran las estadísticas de regresión, así como el análisis de la varianza del modelo polinomial generado. A partir de los datos que se tienen y los datos extremos han desechados.

**Cuadro 9. Análisis de regresión y análisis de la varianza del modelo de regresión polinomial, generar del modelo  $Y=328.36X^3 - 208.12X^2+40.368X+67.062$  excluyendo los datos extremos.**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
HM	79	0.75	0.74	1.06	228.31	240.16

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
const	66.65	1.60	63.46	69.84	41.61	<0.0001
NDWI	48.45	18.47	11.65	85.25	2.62	0.0106
NDWI <sup>2</sup>	-253.17	65.55	-383.76	-122.58	-3.86	0.0002
NDWI <sup>3</sup>	393.71	72.68	248.93	538.49	5.42	<0.0001

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	220.68	3	73.56	75.23	<0.0001
NDWI	90.25	1	90.25	92.31	<0.0001
NDWI <sup>2</sup>	101.73	1	101.73	104.05	<0.0001
NDWI <sup>3</sup>	28.69	1	28.69	29.35	<0.0001
Error	73.33	75	0.98		
Total	294.01	78			

Modelo:

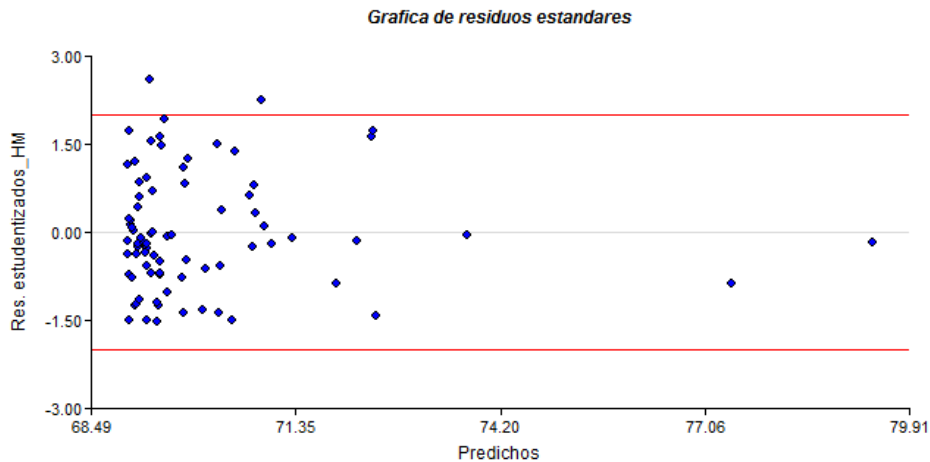
$$Y = 393.71X^3 - 253.17X^2 + 48.45X + 66.65$$

Dónde:

X= Valores obtenidos de imagen satelital del Índice Diferencial de agua normalizada NDWI.

El modelo generado con la regresión polinomial,  $Y=393.71X^3 -253.17X^2+48.45X+66.65$  presenta que las imágenes satelitales del Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI), según el R2 ajustado, representa en un 74 % los valores de humedad obtenidos en el campo y analizados en el laboratorio. Con un nivel de significancia del 5 %, se obtuvieron valores de P-valor en el análisis de varianza menores a 0.05, los cuales indican que estos datos si se ajustan a la realidad y son representativos para el modelo.

En la figura 17 se muestra el Plot de residuales generado a partir del modelo de regresión generado con los predichos, después de desechar los 6 datos extremos, para una significancia del 5 %.



**Figura 17. Plot de residuales - valores predichos.**

En lo que respecta al análisis de residuales del modelo polinómico, en la figura 17 se observan 2 datos atípicos que igualmente corresponden a los valores de NDWI que presentaron la máxima variación en el análisis de residuales siendo un 2,53 % de los datos que varían más allá del valor absoluto aceptado. Basándose en la teoría de Field (2000) como regla general para una estimación podemos decir que nuestro modelo es aceptable ya que no se da la circunstancia de más del 5 % de los casos tienen residuos estandarizados cuyo valor absoluto es mayor que 2,0 para un nivel de significancia del 5 %. En la figura 17 se observa que los puntos, no se pueden considerar como una tendencia por lo que se cumple el supuesto de la heterocedasticidad para la aceptación

del modelo. Así mismo se asume que no hay multicolinealidad ya que solo se están analizando dos variables es imposible que dicho supuesto exista.

El ahorro potencial, depende de la calidad de las imágenes satelitales en el tiempo indicado, al tiempo adecuado de la muestra de humedad, además el área cultivada por Ingenio Pantaleón con la variedad CP72-2086 es de 19,389 hectáreas, siendo el costo medio de muestreo por hectárea según el departamento de cosecha es de U.S. \$.6.95, de coincidir todas las imágenes satelitales con la fecha de requerimiento del porcentaje de humedad, así como una adecuada calidad visual para trabajo, se tendría un ahorro potencial de U.S. \$.134,753.55.

## 2.7 Conclusiones y recomendaciones

1. El modelo de estimación de porcentaje de humedad  $Y=393.71X^3-253.17X^2+48.45X+66.65$ , en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) variedad CP72-2086, es capaz de estimar la humedad del dosel de la planta, en un estado fenológico del cultivo de 9 a 10 meses.
2. El rango del índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI), para la variedad de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) CP72-2086 es de 0.1 a 0.55 en su estado fenológico de 9 a 10 meses.
3. El modelo generado para la estimación del porcentaje de humedad  $Y = 393.71X^3-253.17X^2+48.45X+66.65$  en el cultivo de caña (*Saccharum* spp.), variedad CP72-2086, no presenta multicolinealidad, no presenta heterocedasticidad. De acuerdo a lo anterior, el modelo es aceptado.
4. El ahorro potencial que genera el modelo para la estimación del porcentaje de humedad, del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) variedad CP72-2086 es de 134,753.55 Dólares USA.
5. Generar un nuevo modelo, direccionado a validar el modelo generado, utilizando la metodología de muestreo establecido por el departamento de cosecha (muestreo pre cosecha), así como una metodología más eficiente para preservar del porcentaje de humedad de la muestra, sin mayores pérdidas hasta la llegada al laboratorio.
6. El modelo generado, como herramienta complementaria al planear los muestreos de humedad cada 15 días. Utilizando como referencia puesto que un valor de Índice Diferencial de Agua Normaliza (NDWI) menor 0.4 expresa un porcentaje de humedad inferior a 71%, indicando que el cultivo está por llegar a su maduración natural, así se tendría mejor planeación para la aplicación de madurantes.

## 2.8 Bibliografías

1. Baret, F; Andrieu, B. 1994. Características espectrales de la vegetación (en línea). Consultado 16 mar. 2016. Disponible en: [http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/caracteristicas\\_vegetacion.htm](http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/caracteristicas_vegetacion.htm)
2. Buenaventura, C. 2000. Control de la maduración de caña de azúcar. Cali, Colombia, Técnicaña p.299-307.
3. Castro, O; Montúfar, J. 2004. Respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. L.) al riego precorte caso de la finca Churubusco. In Presentación de resultados de investigación zafra 2003-2004. Guatemala, CENGICANA. p.192-198
4. Centro Nacional de Información Geográfica, ES. 2004. teledetección (en línea). Madrid, España. Consultado 13 mar. 2016. Disponible en: <http://www.ign.es/ign/layoutIn/teledeteccionQueEs.do>
5. Chaves, M. 1982. La maduración, su control y la cosecha de la caña de azúcar (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 17 mar 2016. Disponible en: <https://www.laica.co.cr/biblioteca/servlet/DownloadServlet?c=443&s=2521&d=1760>
6. Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de la teledetección. 2 ed. Madrid, España, Ediciones Rialp. 449 p.
7. Danson, FM; Plummer, SE. 1995. Advance in environmental remote sensing. Use of spectral reflectance variatio to retrieve canopy biophysical character. Florida, Estados Unidos, Editorial Qihao Weng. 545 p.
8. Díaz, L; Portocarrero, E. 2002. Manual de producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp. L.). Tesis Ing. Agr. Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. 148 p.
9. Facts on Health and the Environment. 2001. Espectro electromagnético (en línea). Consultado 15 mar. 2016. Disponible en: <http://www.greenfacts.org/es/glosario/def/espectro-electromagnetico.htm>
10. FAOSTAT. 2002. Datos agrícolas: cultivos primarios caña de azúcar (en línea). Roma, Italia. Consultado 13 mar. 2016. Disponible en: <http://apps.fao.org/page/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&language=ES&hostname=apps.fao.org&version=default>

11. Fernández, T. 2007. Interacción entre la radiación electromagnética con la materia (en línea). España, UJAEN. Consultado 15 mar. 2016. Disponible en: [http://coello.ujaen.es/Asignaturas/teledeteccion/tel/tel\\_tfc\\_archivos/Tema3.pdf](http://coello.ujaen.es/Asignaturas/teledeteccion/tel/tel_tfc_archivos/Tema3.pdf)
12. Field, A. 2000. Discovering statistics using SPSS for Windows. Londres, SAGE Publications 123p.
13. Gilabert, MA; Gonzales-Piqueras, J; García-Haro, J. 1997. Acerca de los índices de vegetación. Revista de Teledetección 8(1):1-10.
14. Martínez, J; Díaz, A. 2005. Percepción remota fundamentos de la teledetección. *In* Presentación de metodología en la Comisión Nacional del Agua, México, CONAGUA. 62p.
15. NASA, Science for a Changing World, US. 2013. Landsat ocho (en línea). Consultado 17 mar. 2016. Disponible en <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>
16. Ormeño, J. 1991. Reflectancia vegetal (en línea). España, Universidad de JAEN. Consultado 16 mar. 2016. Disponible en: [http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/factores\\_reflectancia\\_vegetal](http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/factores_reflectancia_vegetal)
17. Richardson, R. 2016. Sensores remotos aplicaciones agrícolas (comunicación personal). Guatemala, Unidad de San Carlos de Guatemala / Universidad de Santo Tomas Viña del Mar, Chile.
18. UMHE (Universidad Manuel Hernández Elche, Departamento de Biología Aplicada, España.) 2004. La radiación electromagnética (en línea). Elche, España. Consultado 15 mar. 2016. Disponible en: [http://repositorio.innovacionumh.es/proyectos/P\\_22CursoMateriales/MiguelAngel\\_sogorb/wimba/Espectroscopia\\_02.htm](http://repositorio.innovacionumh.es/proyectos/P_22CursoMateriales/MiguelAngel_sogorb/wimba/Espectroscopia_02.htm)
19. Universidad de Palermo, Argentina. 2008. Ciencia y tecnología. *In* García, E; Flego, F. Agricultura de precisión. 8 ed. Argentina. 100 p. Consultado 15 mar. 2016. Disponible en <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>
20. Villatoro, B. 2016. Corrección atmosférica (entrevista). Escuintla, Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Coordinador área de agricultura de precisión.

## 2.9 Anexos Capítulo II

**Cuadro 10A. Unión de información espacial, obtenida de satélite landsat ocho (8) con análisis de laboratorio de las muestras realizadas en campo.**

FINCA	LOTE	ENSAYO	DATO NDWI	% Humedad de la muestra
LA CONSENTIDA TB	407	1er. Muestreo	0.294637442	67.546
AGRICOLA	1001	6to. Muestreo	0.21619463	67.816
LA CONSENTIDA TB	407	1er. Muestreo	0.314953089	67.888
LA CONSENTIDA TB	407	1er. Muestreo	0.345851004	67.928
EL JOBO	101	3ro. Muestreo	0.243700847	67.92803527
EL JOBO	101	3ro. Muestreo	0.324467123	68.05492228
LA CONSENTIDA TB	407	1er. Muestreo	0.346789718	68.204
AGRICOLA	1001	6to. Muestreo	0.189569861	68.26
PRESA BAUL	404	5to. Muestro	0.276889	68.30028218
LA CONSENTIDA TB	403	1er. Muestreo	0.256198347	68.316
LA CONSENTIDA TB	407	1er. Muestreo	0.36594829	68.424
LA HAVANA	501	3ro. Muestreo	0.150139213	68.55739271
LIMONCITOS	2002	6to. Muestreo	0.284108341	68.63730392
PRESA BAUL	404	5to. Muestro	0.339524	68.65164138
AGRICOLA	1001	6to. Muestreo	0.214999095	68.72866667
PRESA BAUL	404	5to. Muestro	0.217479	68.99947396
LIMONCITOS	2002	6to. Muestreo	0.378003985	68.76
EL JOBO	101	3ro. Muestreo	0.244074851	68.76198004
SAN JUAN SINACAPA	801	4to. Muestreo	0.111958094	68.77826378
EL PARA	102	5to. Muestro	0.111327	68.80359257
LA CONSENTIDA TB	406	1er. Muestreo	0.290372968	68.878
AGRICOLA	1001	6to. Muestreo	0.218425512	68.91
AGRICOLA	1001	6to. Muestreo	0.236795902	68.912
LA CONSENTIDA TB	403	1er. Muestreo	0.386254013	68.944
AGRICOLA	1001	6to. Muestreo	0.237925574	68.9525
PRESA BAUL	402	5to. Muestro	0.348523587	68.96666667
LA PRESA	401	5to. Muestro	0.391804	69.00047259
SAN JUAN SINACAPA	801	4to. Muestreo	0.10063798	69.00787058
LA CONSENTIDA TB	407	1er. Muestreo	0.365018278	69.008
LIMONCITOS	2002	6to. Muestreo	0.331088662	69.05
SANTA TERESA KLOSE	201	3ro. Muestreo	0.231760547	69.09738671
SAN JUAN SINACAPA	801	4to. Muestreo	0.253022462	69.1010463
LA HAVANA	501	3ro. Muestreo	0.091998279	69.10601751
LIMONES S.A.	307	2do. Muestreo	0.301750809	69.154
LIMONES S.A.	307	2do. Muestreo	0.310653895	69.154

<b>FINCA</b>	<b>LOTE</b>	<b>ENSAYO</b>	<b>DATO NDWI</b>	<b>% Humedad de la muestra</b>
LIMONES S.A.	307	2do. Muestreo	0.26603967	69.225
LA CONSENTIDA TB	407	1er. Muestreo	0.299936593	69.252
SAN JUAN SINACAPA	801	4to. Muestreo	0.207366988	69.28789886
LA CONSENTIDA TB	407	1er. Muestreo	0.341766953	69.3592
LIMONES S.A.	307	2do. Muestreo	0.36806789	69.366
LA ISLA	103	2do. Muestreo	0.379053921	69.4825
SAN JUAN SINACAPA	801	4to. Muestreo	0.14703393	69.48311198
EL PARA	102	5to. Muestro	0.239561	69.55150713
LIMONES PANTALEÓN	801	3ro. Muestreo	0.35854128	69.57424125
PASO ANTONIO	407	4to. Muestreo	0.386930525	69.73979388
EL JOBO	101	3ro. Muestreo	0.235879019	69.74976842
PASO ANTONIO	407	4to. Muestreo	0.233169705	70.01101211
LA CONSENTIDA TB	403	1er. Muestreo	0.3420344	70.054
PASO ANTONIO	407	4to. Muestreo	0.091807917	70.07926588
LA HAVANA	501	3ro. Muestreo	0.280819207	70.12834099
LA HAVANA	501	3ro. Muestreo	0.315221757	70.28186925
LA CONSENTIDA TB	407	1er. Muestreo	0.400956571	70.522
SANTA TERESA KLOSE	201	3ro. Muestreo	0.367521405	70.60838156
PASO ANTONIO	407	4to. Muestreo	0.387430102	70.68076198
EL JOBO	101	3ro. Muestreo	0.296967447	70.69991721
LIMONES PANTALEÓN	801	3ro. Muestreo	0.207196265	70.82257776
LA CONSENTIDA TB	407	1er. Muestreo	0.407910526	70.828
SANTA TERESA KLOSE	201	3ro. Muestreo	0.366468608	70.86197403
PASO ANTONIO	407	4to. Muestreo	0.349884808	70.9065327
LA CONSENTIDA TB	407	1er. Muestreo	0.405023277	71.002
PASO ANTONIO	406	4to. Muestreo	0.183083877	71.02801028
LA CONSENTIDA TB	307	1er. Muestreo	0.369306535	71.06
LIMONES S.A.	307	2do. Muestreo	0.428689033	71.072
LA HAVANA	501	3ro. Muestreo	0.439366013	71.0955309
LA CONSENTIDA TB	403	1er. Muestreo	0.401809007	71.11
LA PRESA	401	5to. Muestro	0.415087	71.19881472
LIMONES S.A.	307	2do. Muestreo	0.399227202	71.314
PASO ANTONIO	405	4to. Muestreo	0.164986923	71.37281676
LA CONSENTIDA TB	403	1er. Muestreo	0.401343912	71.552
LIMONES S.A.	307	2do. Muestreo	0.385356426	71.726
PASO ANTONIO	407	4to. Muestreo	0.210347429	71.82923106
AGUA BLANCA	113	2do. Muestreo	0.393629581	71.842
EL MOLINO UFER	302	4to. Muestreo	0.260386676	71.94523774
LA PRESA	401	5to. Muestro	0.434619	72.05835021
EL MOLINO UFER	302	4to. Muestreo	0.316455752	72.15084912



<b>FINCA</b>	<b>LOTE</b>	<b>ENSAYO</b>	<b>DATO NDWI</b>	<b>% Humedad de la muestra</b>
EL MOLINO UFER	302	4to. Muestreo	0.348482132	72.43045167
EL MOLINO UFER	301	4to. Muestreo	0.299256206	72.62720859
EL MOLINO UFER	101	4to. Muestreo	0.404350072	73.08001628
LA HAVANA	501	3ro. Muestreo	0.460755795	73.68362409
EL MOLINO UFER	101	4to. Muestreo	0.438365221	73.97865535
LA HAVANA	501	3ro. Muestreo	0.43884632	74.11073965
LIMONES PANTALEÓN	801	3ro. Muestreo	0.506849289	76.70625599
SANTA MARGARITA	202	3ro. Muestreo	0.536662698	76.8877889
SANTA MARGARITA	202	3ro. Muestreo	0.488820344	78.71925407
SANTA MARGARITA	202	3ro. Muestreo	0.526030362	79.27165413

**Cuadro 11A. Análisis de residuales generado a partir del modelo polinomial obtenido en el cuadro seis (6).**

<i>Observación</i>	<i>Pronostico para Y</i>	Residuos modelo Polinomial grado 3	Residuos Estandares
1	69.28	-1.74	-1.4
2	69.37	-1.55	-1.26
3	69.39	-1.50	-1.2
4	69.71	-1.78	-1.43
5	69.28	-1.36	-1.1
6	69.46	-1.41	-1.13
7	69.73	-1.52	-1.22
8	69.46	-1.20	-0.98
9	69.25	-0.95	-0.77
10	69.26	-0.94	-0.76
11	70.06	-1.63	-1.31
12	69.54	-0.98	-0.8
13	69.26	-0.62	-0.5
14	69.63	-0.98	-0.78
15	69.37	-0.65	-0.53
16	69.37	-0.63	-0.3
17	70.32	-1.56	-1.25
18	69.28	-0.52	-0.43
19	69.43	-0.65	-0.56
20	69.43	-0.62	-0.53
21	69.27	-0.39	-0.32
22	69.36	-0.45	-0.37
23	69.30	-0.39	-0.32
24	70.53	-1.58	-1.27
25	69.30	-0.35	-0.29
26	69.75	-0.78	-0.63
27	70.68	-1.68	-1.35
28	69.35	-0.34	-0.3
29	70.04	-1.03	-0.83
30	69.53	-0.48	-0.39
31	69.32	-0.22	-0.19
32	69.26	-0.16	-0.14
33	69.27	-0.17	-0.15
34	69.31	-0.16	-0.13
35	69.36	-0.20	-0.17
36	69.25	-0.02	-0.02
37	69.30	-0.05	-0.04
38	69.40	-0.11	-0.1
39	69.66	-0.30	-0.24
40	70.10	-0.73	-0.59
41	70.35	-0.86	-0.69
42	69.53	-0.05	-0.05
43	69.29	0.26	0.2

<i>Observación</i>	<i>Pronostico para Y</i>	Residuos modelo Polinomial grado 3	Residuos Estandares
44	69.92	-0.34	-0.27
45	70.55	-0.81	-0.65
46	69.30	0.44	0.35
47	69.31	0.70	0.56
48	69.66	0.39	0.32
49	69.27	0.81	0.73
50	69.25	0.88	0.7
51	69.39	0.89	0.71
52	70.96	-0.44	-0.35
53	70.09	0.52	0.42
54	70.56	0.12	0.1
55	69.29	1.41	1.13
56	69.40	1.42	1.14
57	71.19	-0.36	-0.29
58	70.07	0.80	0.64
59	69.77	1.13	0.91
60	71.09	-0.09	-0.07
61	69.48	1.55	1.25
62	70.13	0.93	0.75
63	71.99	-0.92	-0.74
64	72.48	-1.38	-1.11
65	70.99	0.12	0.1
66	71.45	-0.25	-0.2
67	70.90	0.41	0.33
68	69.52	1.85	1.5
69	70.97	0.58	0.47
70	70.50	1.22	0.98
71	69.39	2.44	1.96
72	70.73	1.11	0.89
73	69.25	2.69	2.16
74	72.25	-0.20	-0.16
75	69.40	2.75	2.2
76	69.75	2.68	2.15
77	69.30	3.33	2.66
78	71.07	2.01	1.62
79	73.60	0.08	0.07
80	72.43	1.55	1.26
81	72.45	1.66	1.35
82	76.81	-0.11	-0.09
83	79.53	-2.64	-2.65
84	75.42	3.30	2.76
85	78.50	0.77	0.72

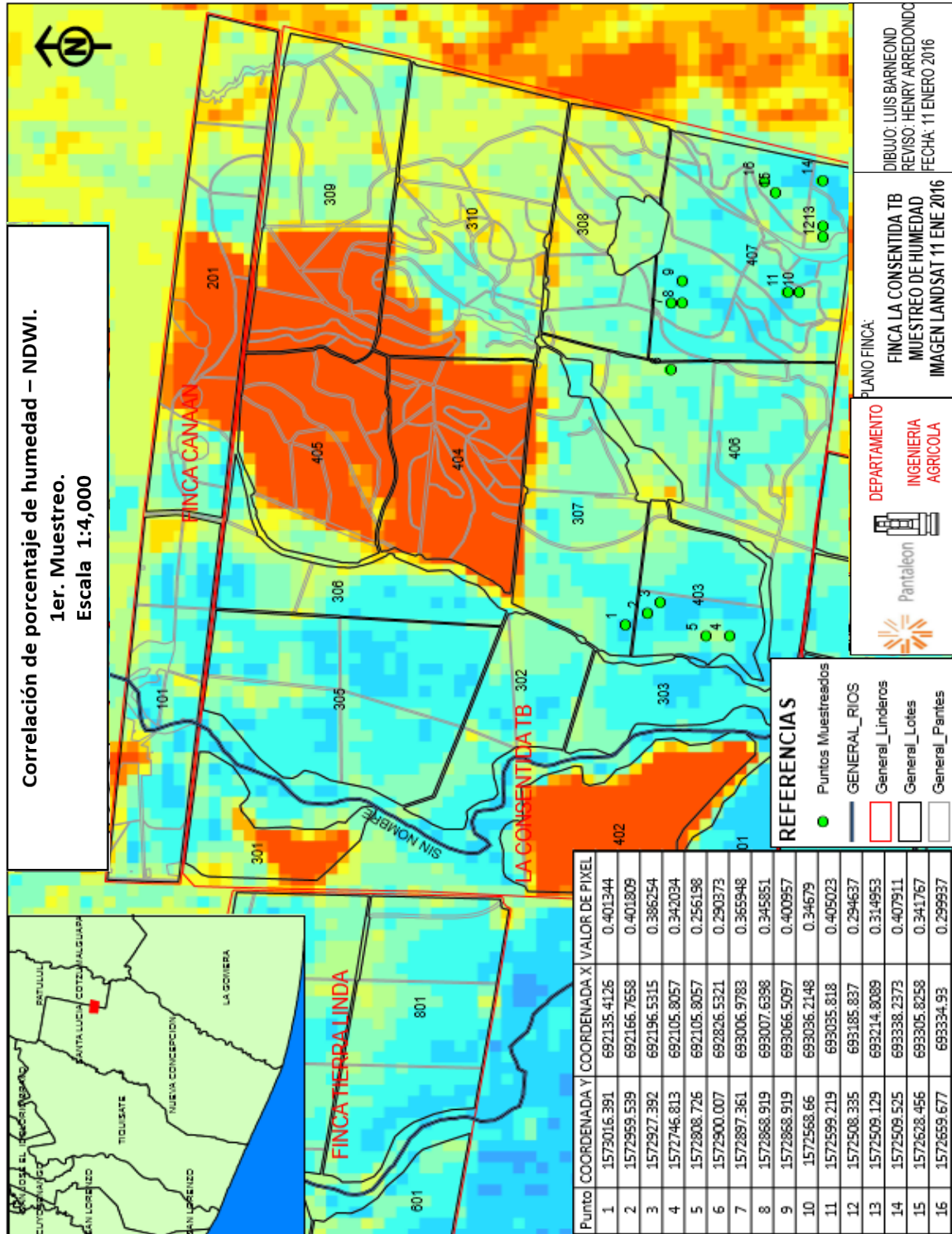


Figura 18A. Mapa de Finca La Consentida, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.

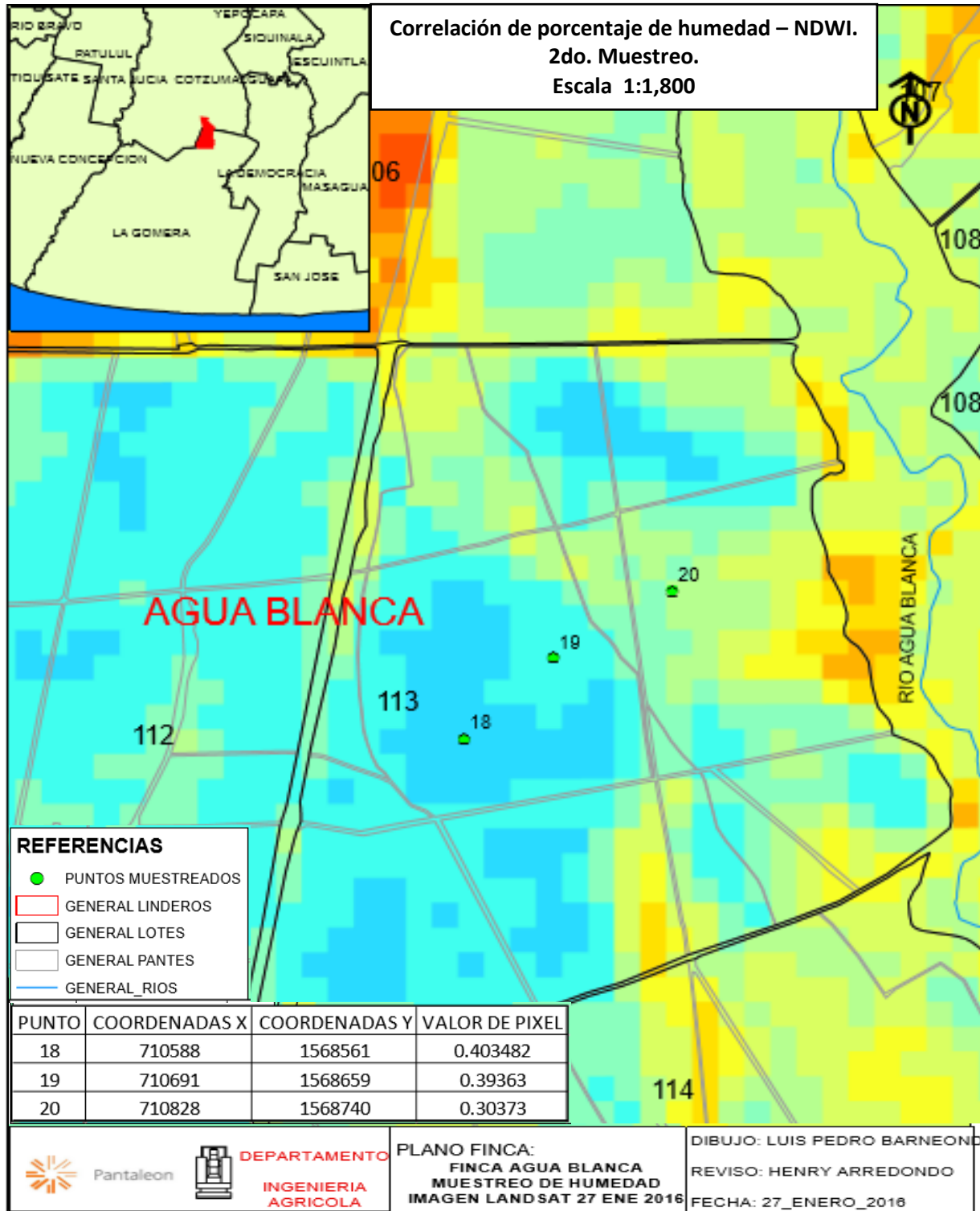


Figura 19A. Mapa de Finca Agua Blanca, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.

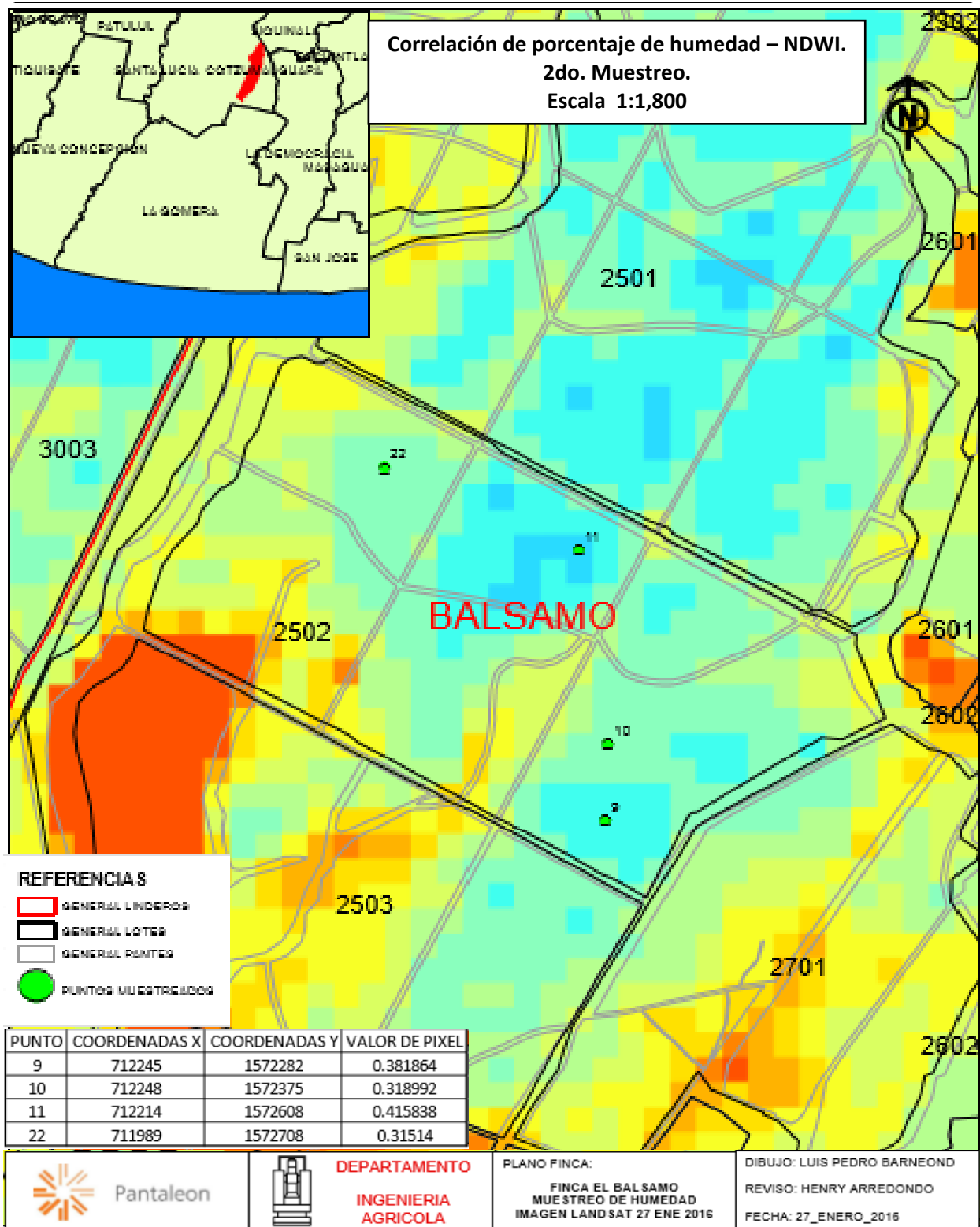
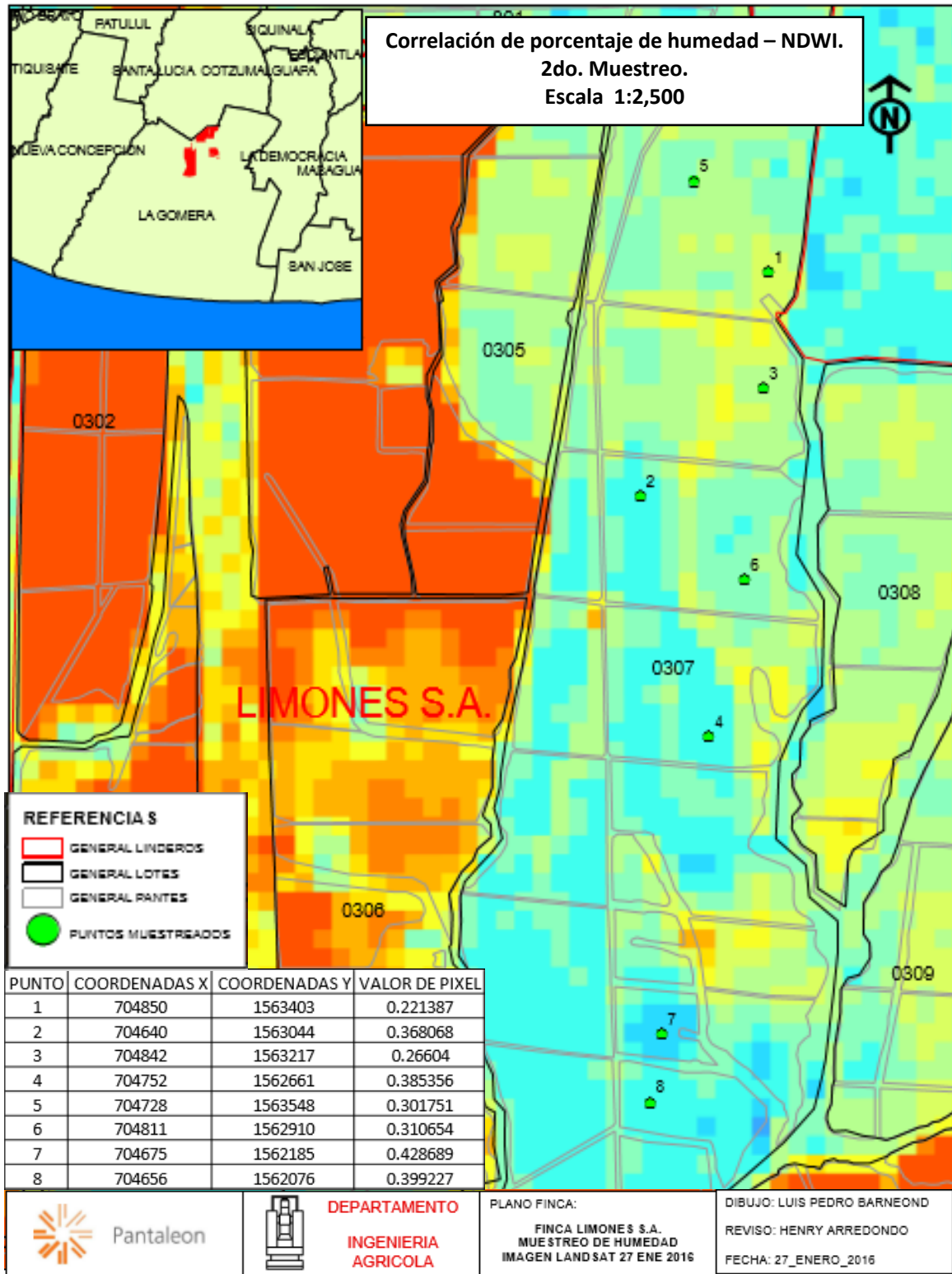
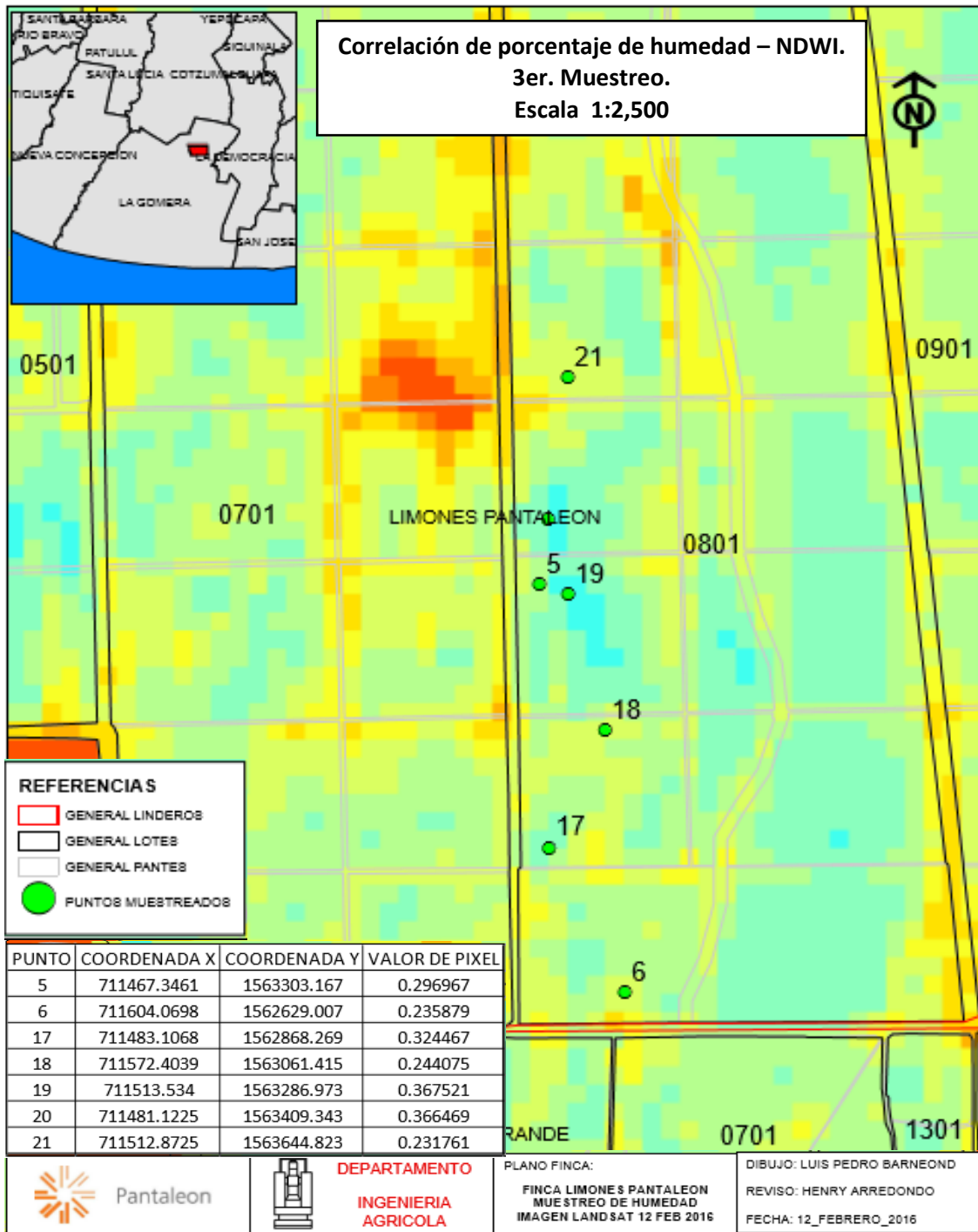


Figura 20A. Mapa de Finca Balsamo, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.

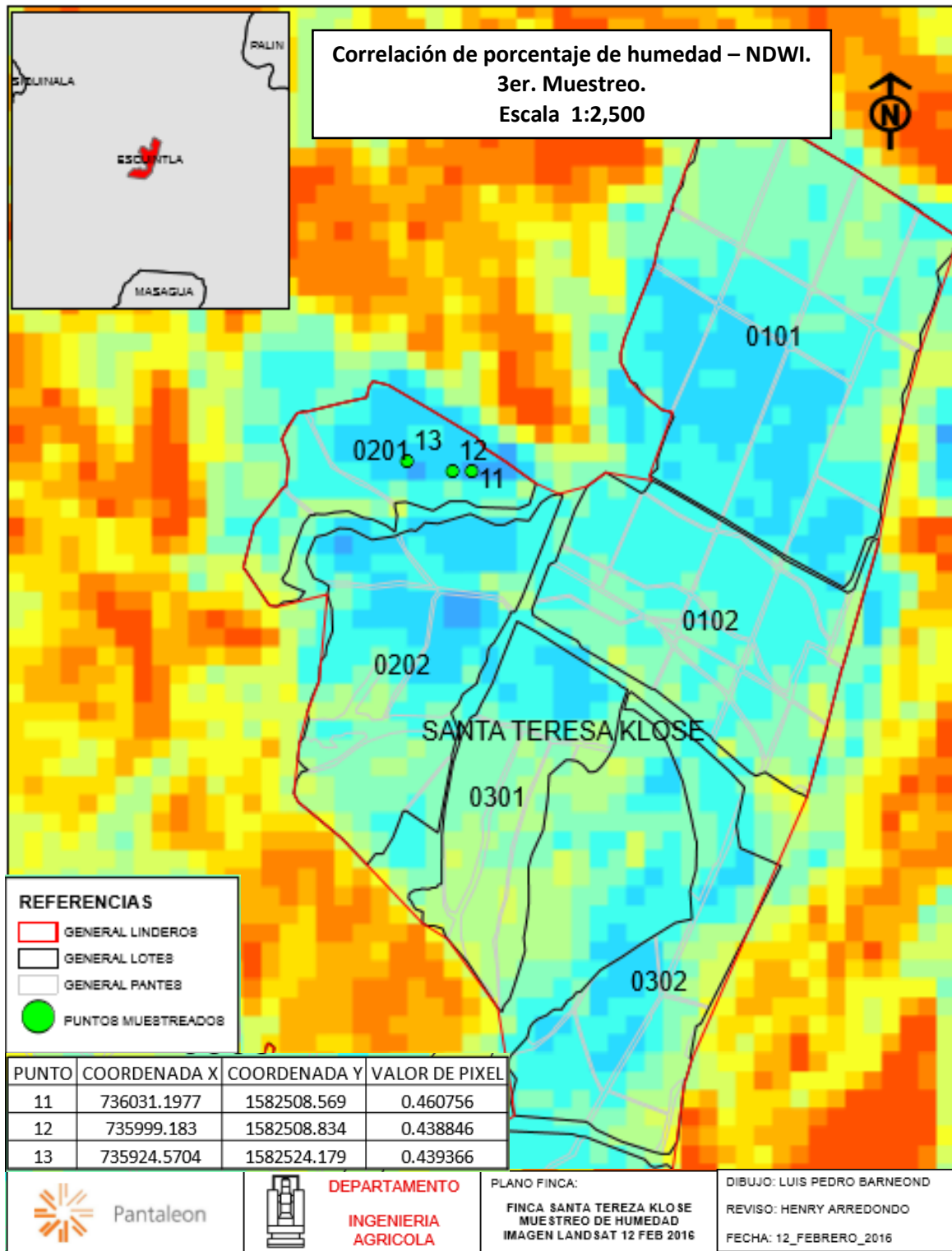


**Figura 21A. Mapa de Finca Limones S.A. con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.**



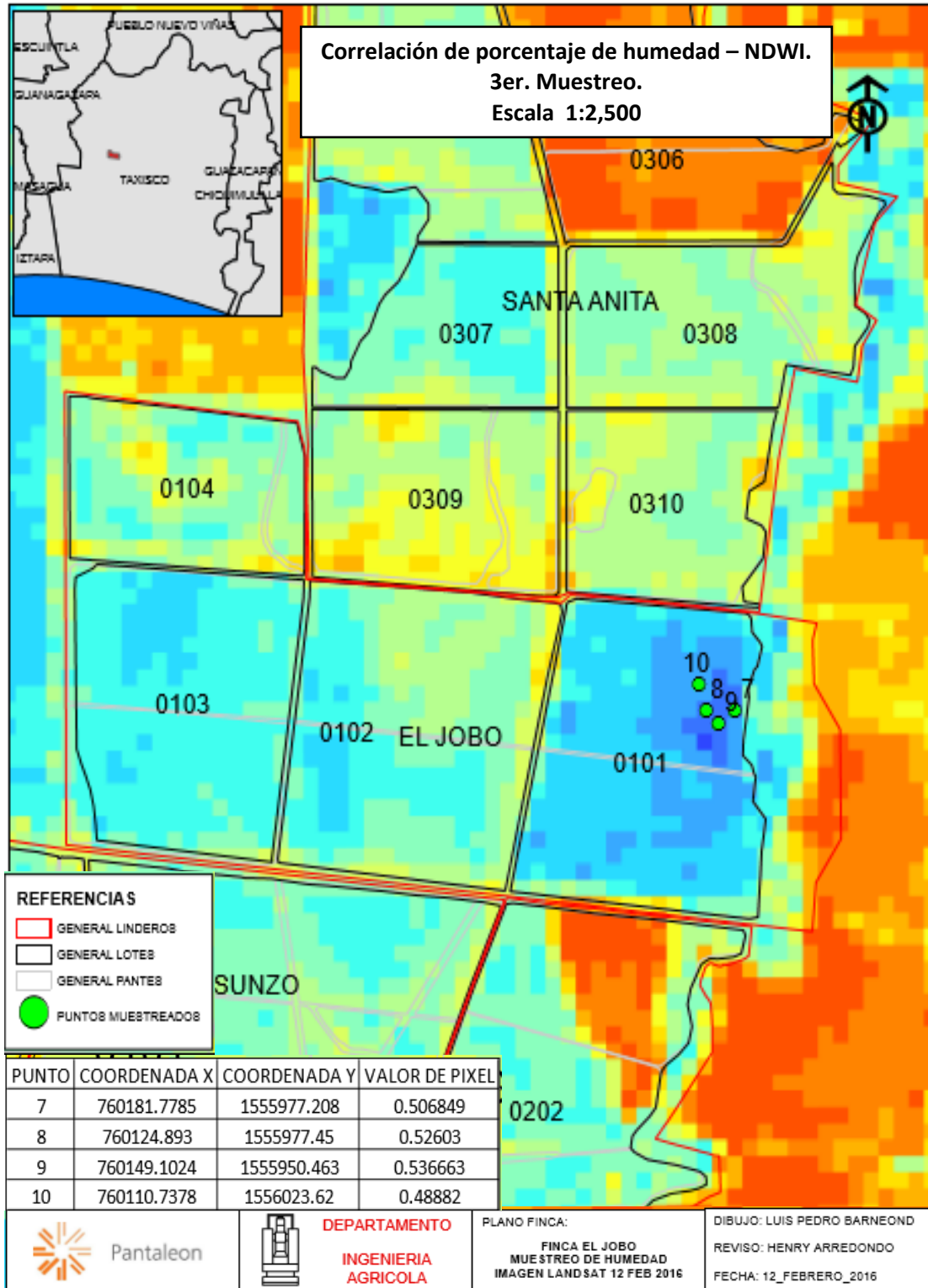
**Figura 22A. Mapa de Finca Limones Pantaleón, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.**





**Figura 23A. Mapa de Finca Santa Teresa Klose, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.**





**Figura 24A. Mapa de Finca El Jobo, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.**

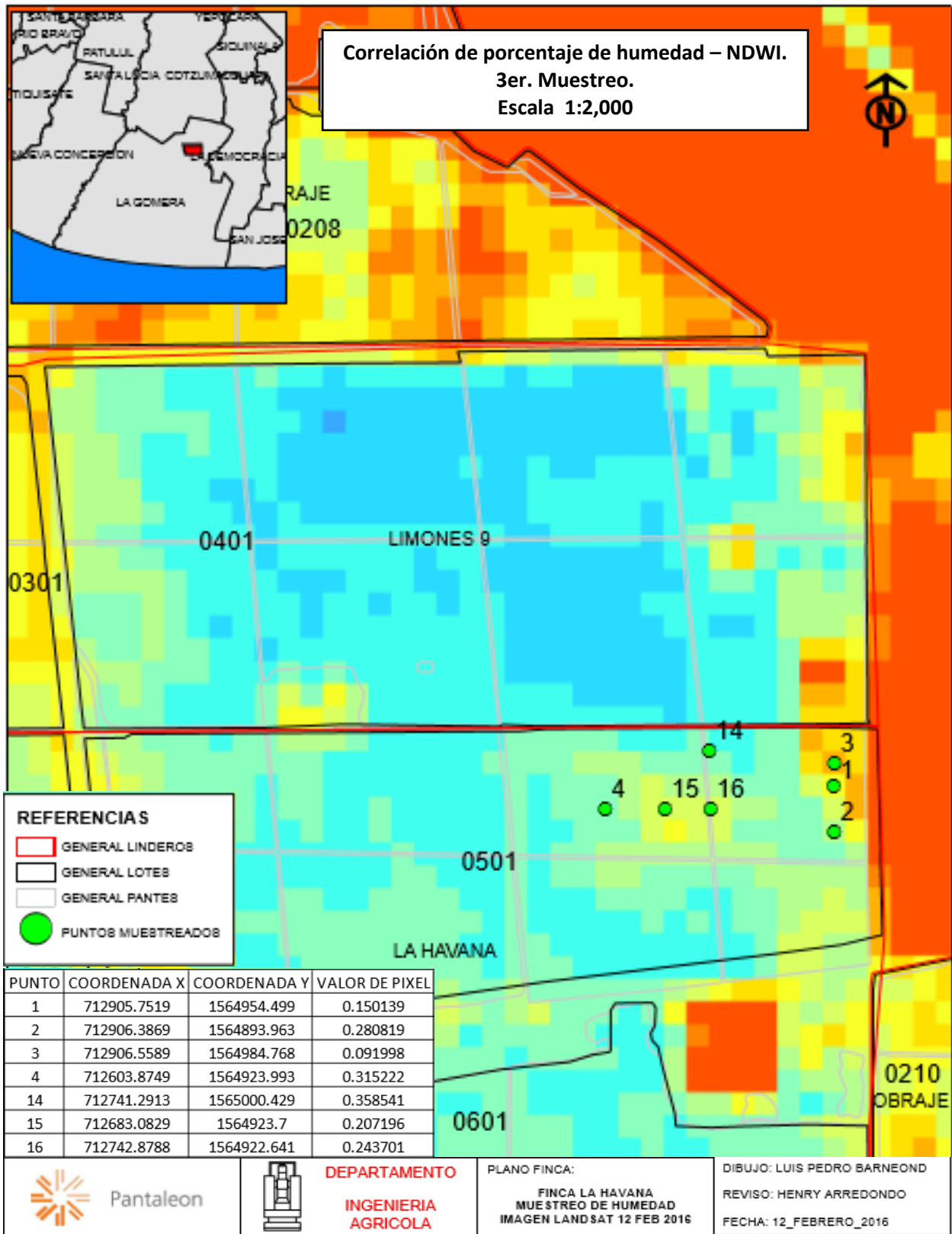


Figura 25A. Mapa de Finca La Havana, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.

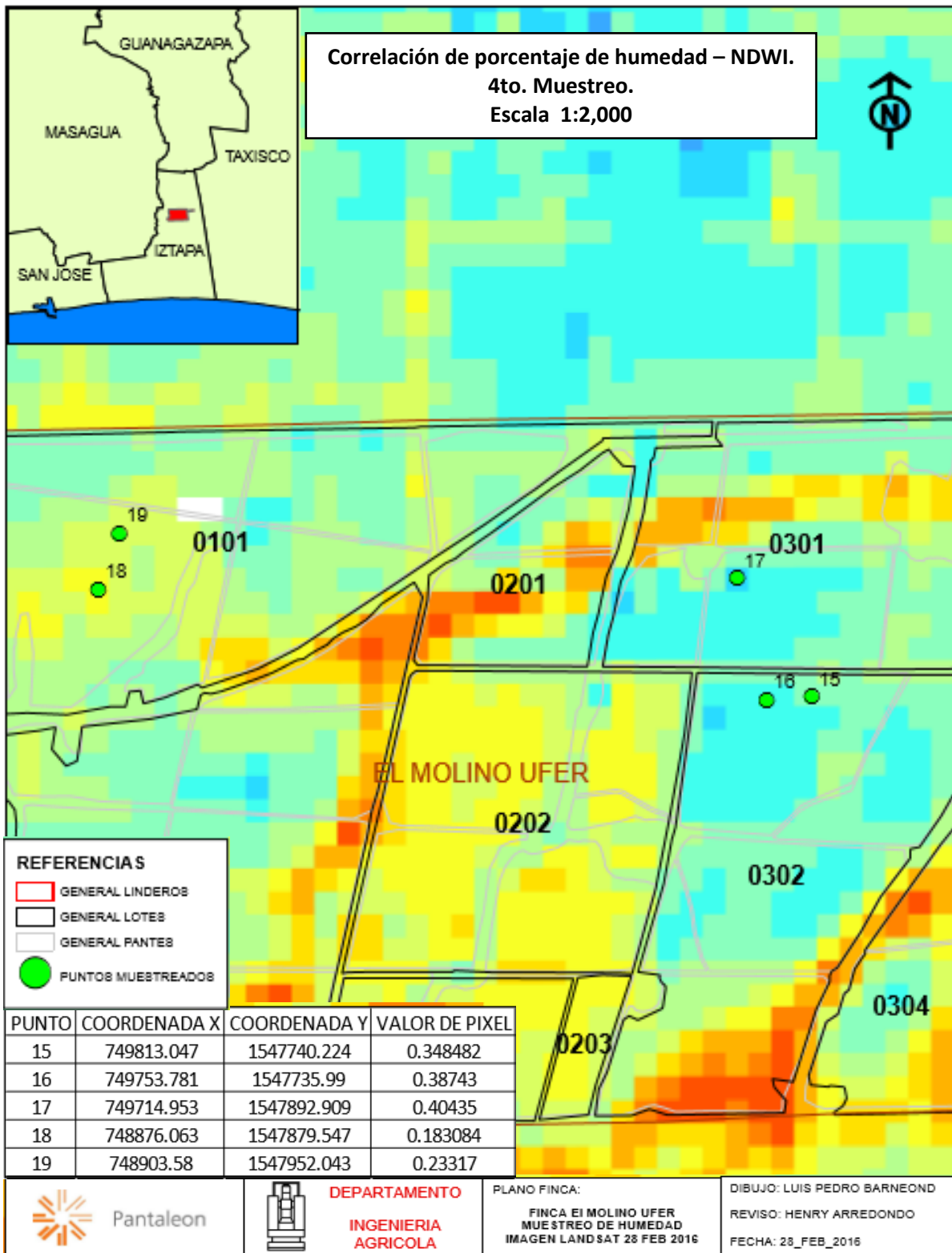


Figura 26A. Mapa de Finca El Molino Ufer, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.

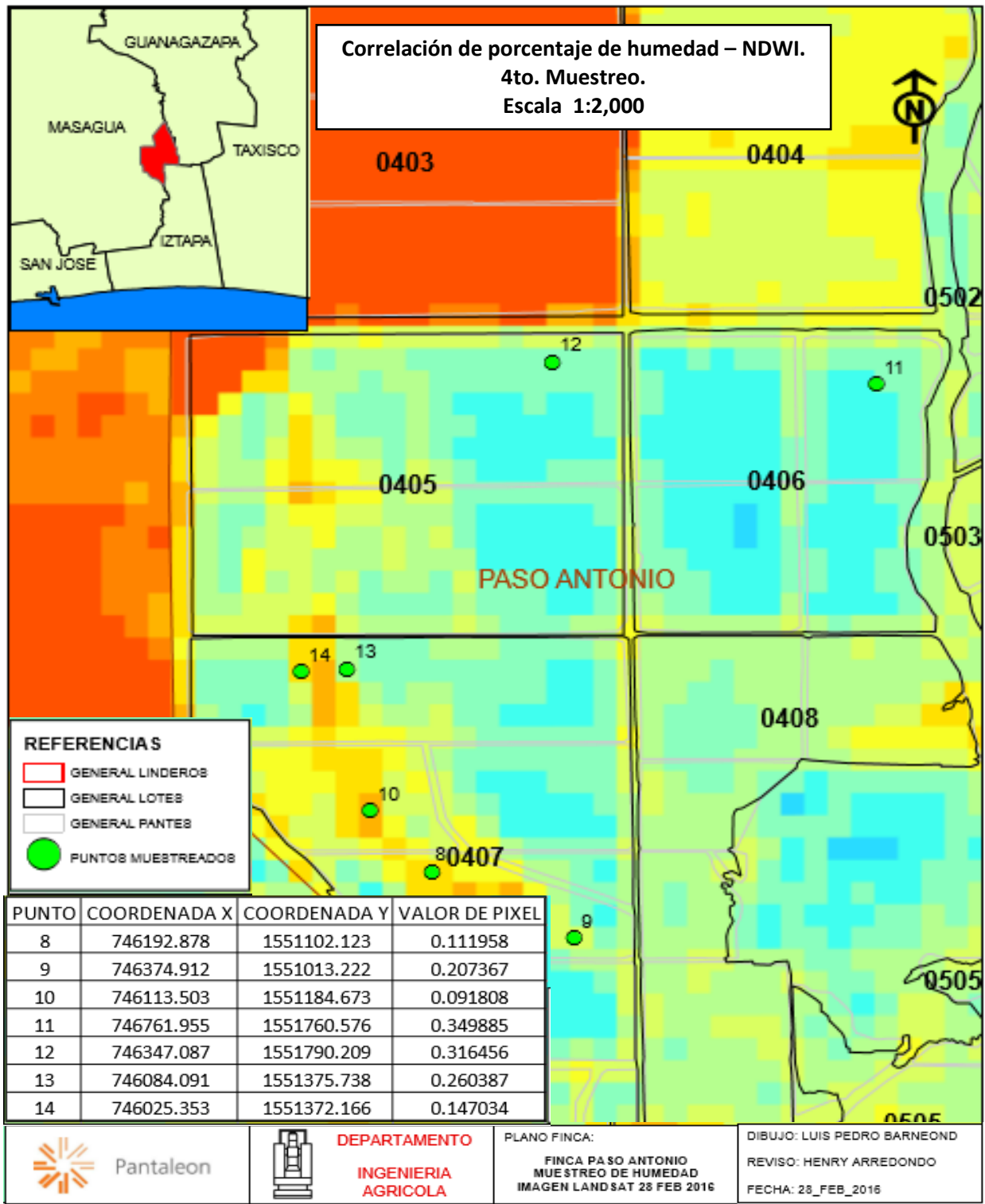
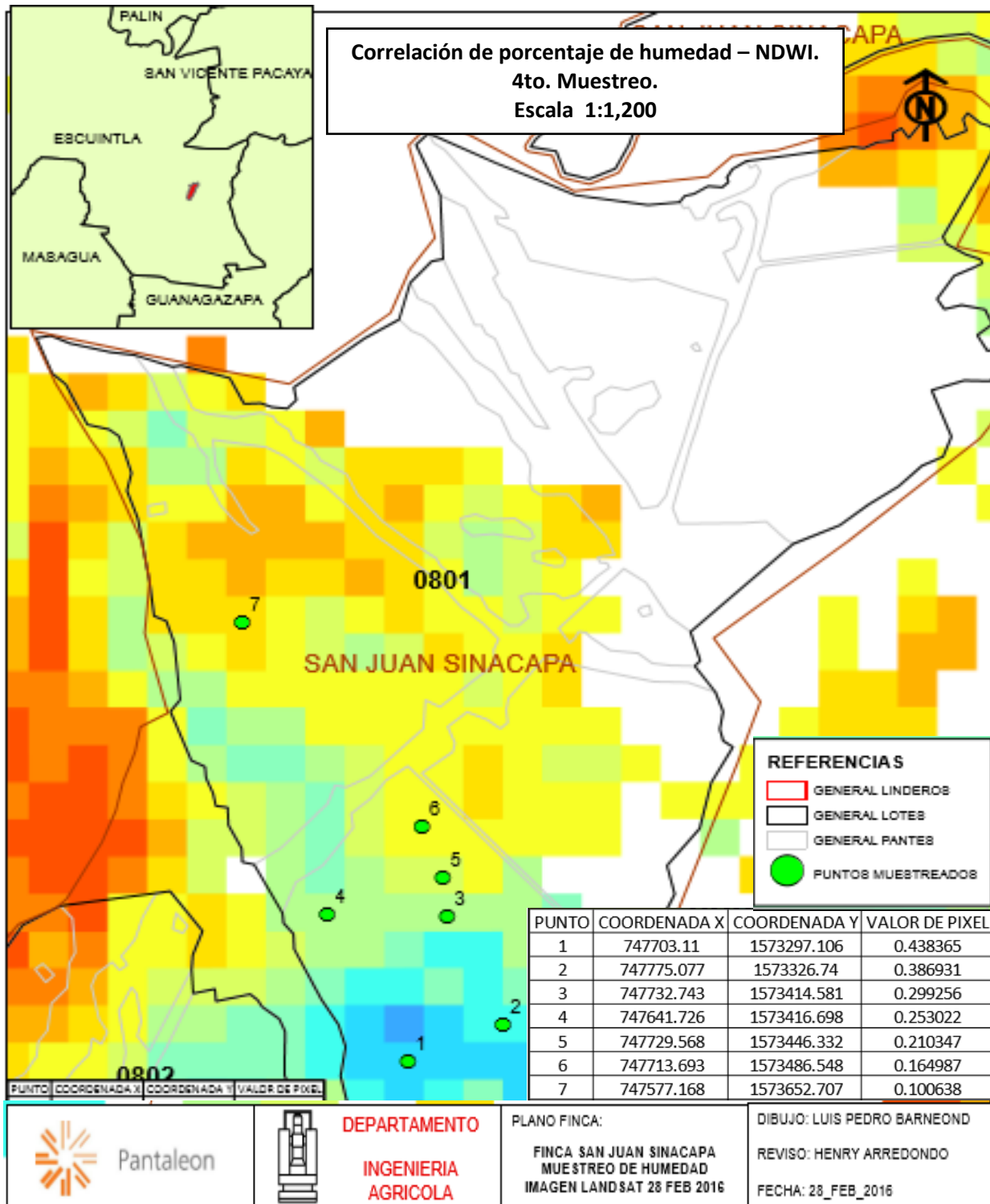
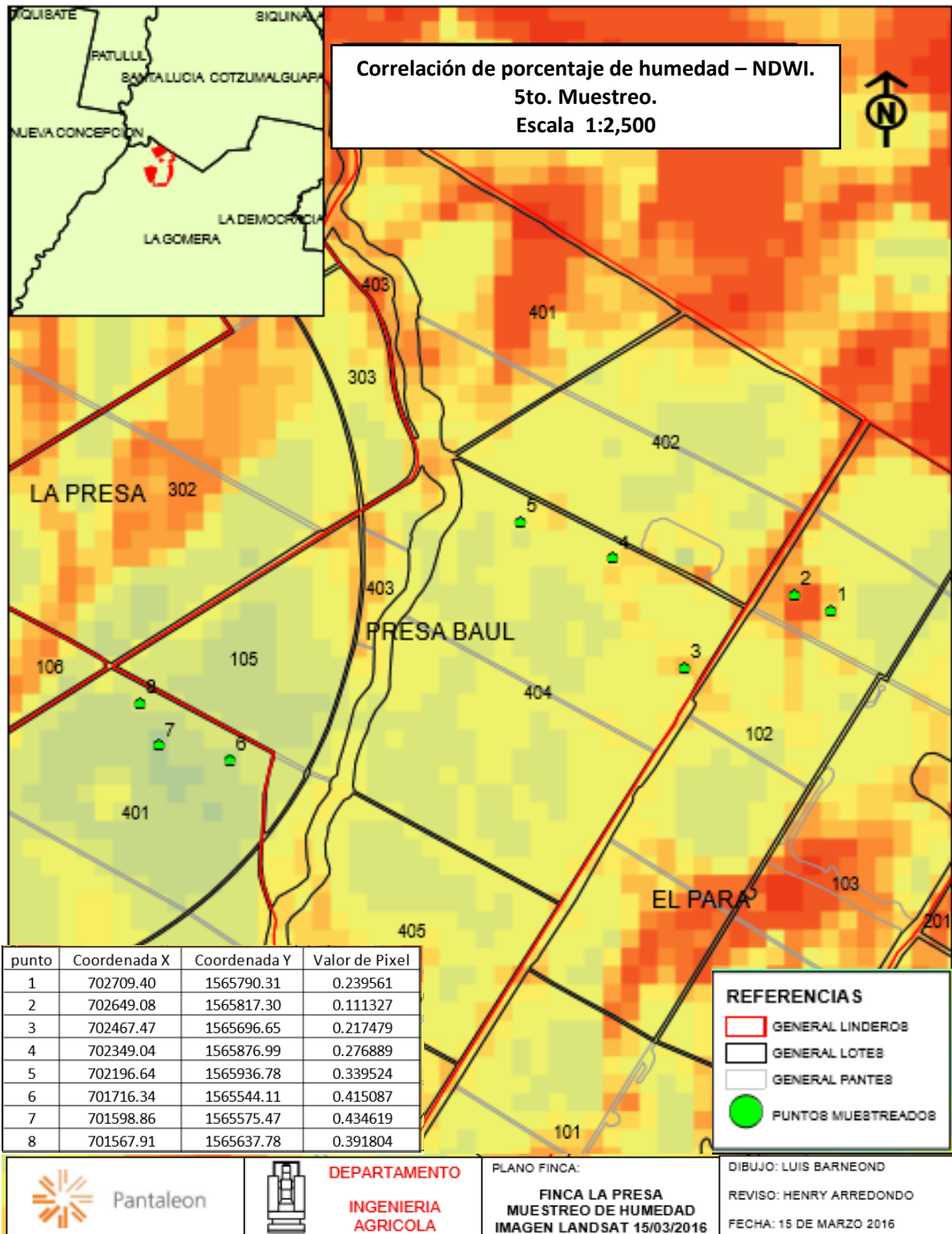


Figura 27A. Mapa de Finca Paso Antonio, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.



**Figura 28A. Mapa de Finca San Juan Sinacapa, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.**





**Figura 29A. Mapa de finca La Presa Baúl, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.**

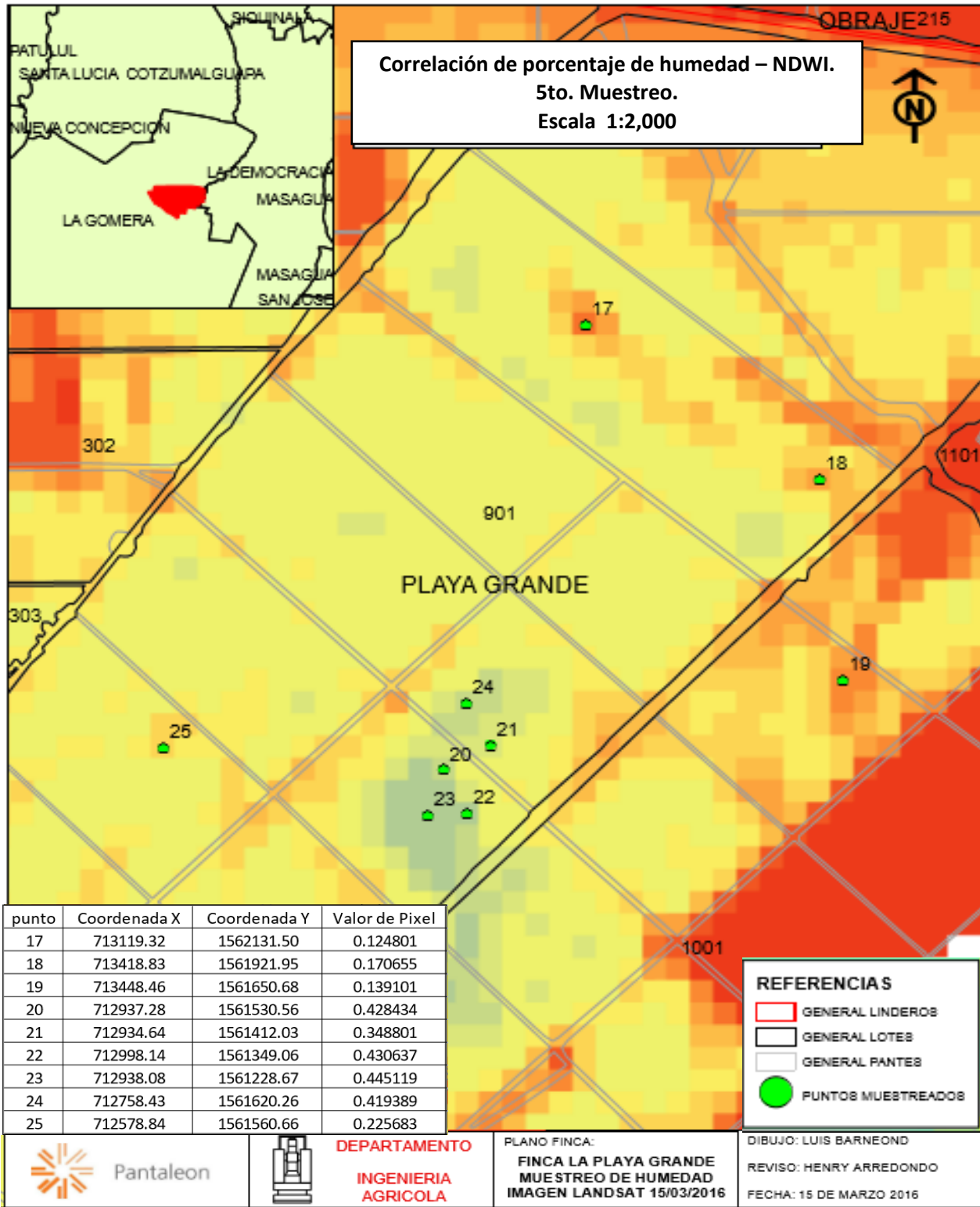
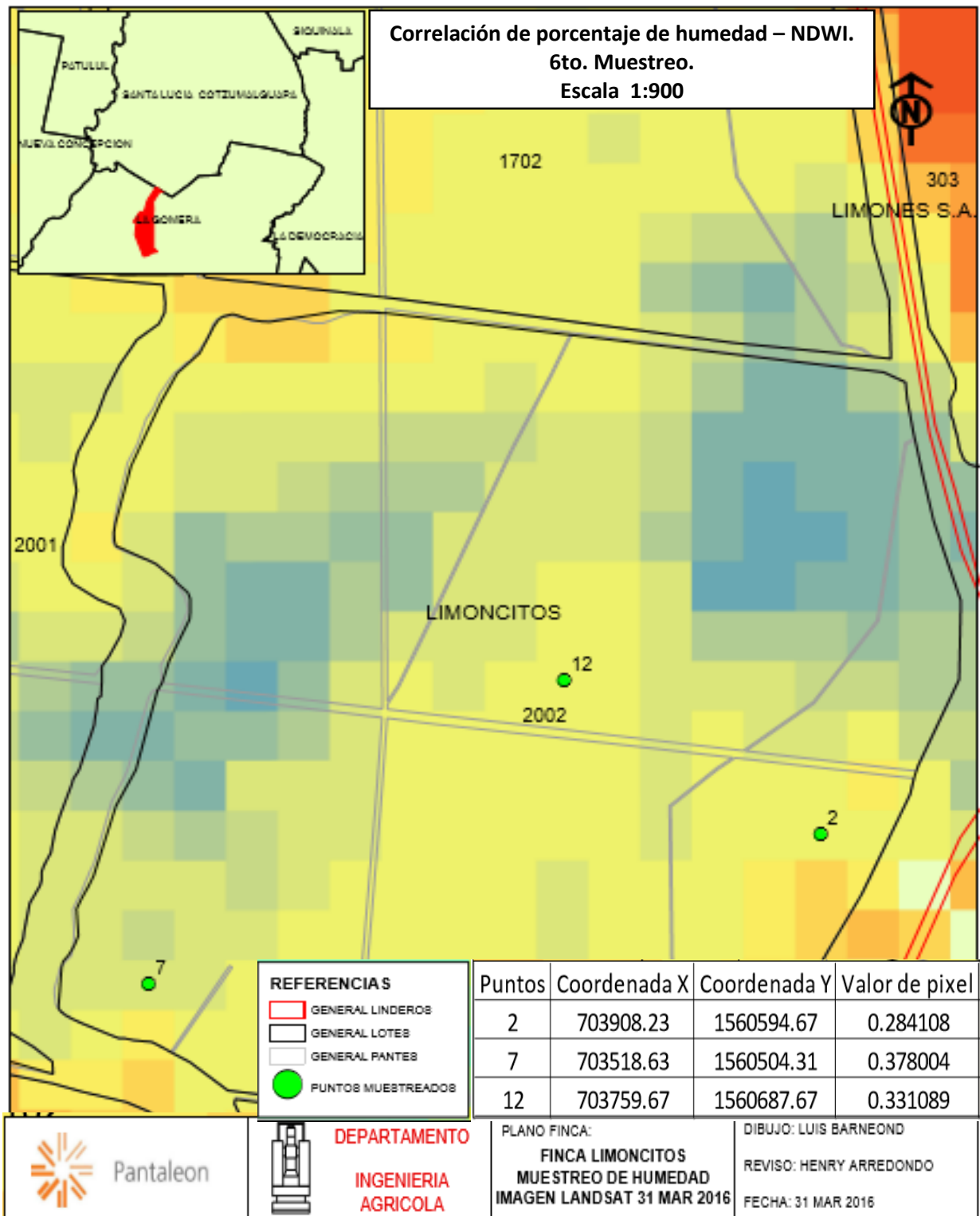
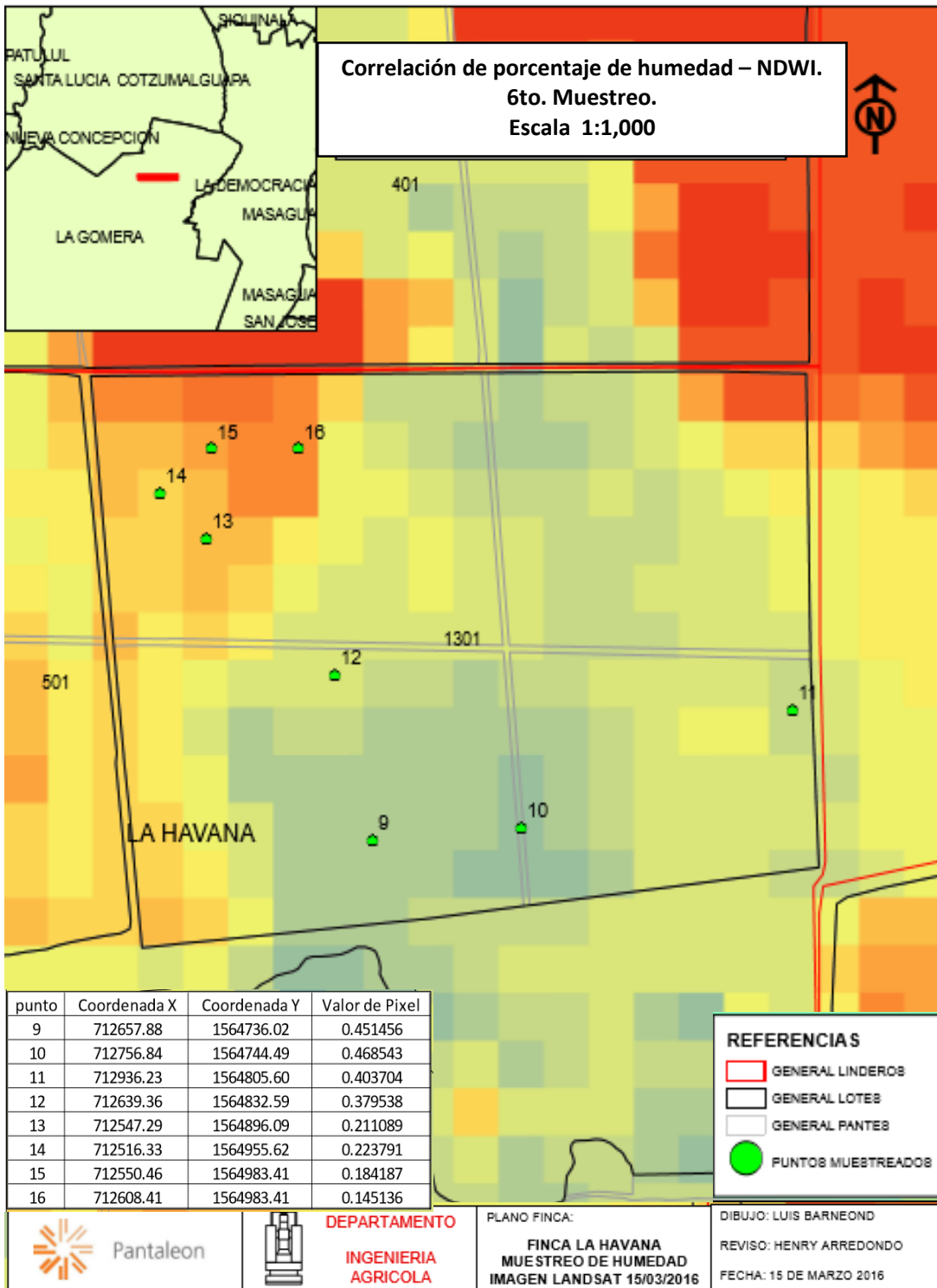


Figura 30A. Mapa de Finca Playa Grande, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.

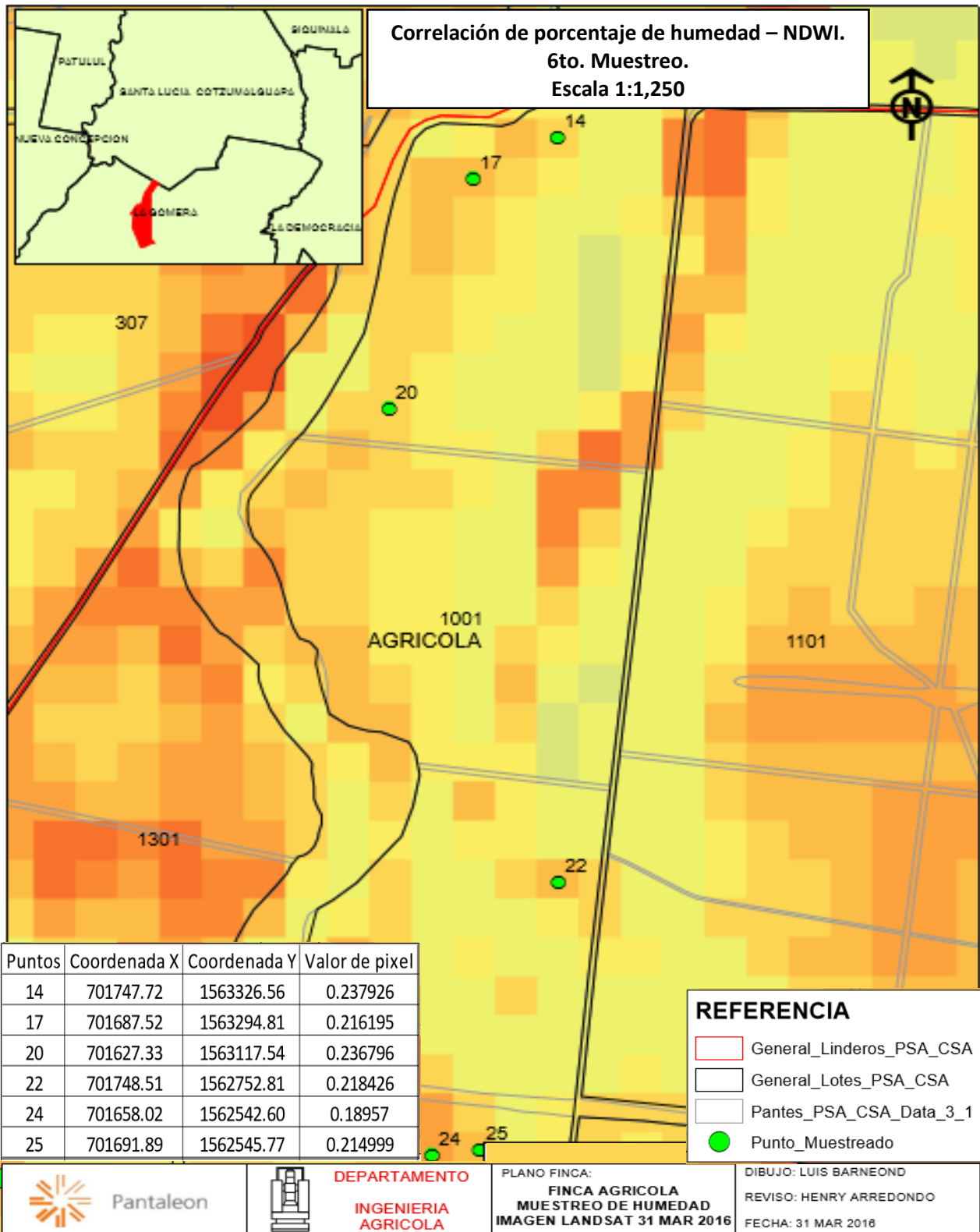


**Figura 31A. Mapa de Finca Limoncitos, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.**





**Figura 32A. Mapa de Finca La Havana, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.**



**Figura 33A. Mapa de Finca La Agrícola, con coordenadas de muestreo e imagen NDWI.**



### **CAPÍTULO III**

**PROYECTOS REALIZADOS EN LA UNIDAD DE TELEDETECCIÓN DEL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DE INGENIO PANTALEÓN, S.A.,  
GUATEMALA, C.A.**



### 3.1 Presentación

La observación remota de la superficie de la tierra constituye el marco de estudios de la teledetección. Siendo esta una técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre, desde sensores instalados en plataformas espaciales, principalmente satélites o plataformas aéreas temporales, como lo son los drones. La interacción entre el terreno y el sensor es de carácter electromagnético, quiere decir que mediante longitudes de onda generadas por el sol, los sensores captan dichas longitudes y generan una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra.

La zona cañera bajo la supervisión de Ingenio Pantaleón actualmente cuenta con 54,000 hectáreas siendo esta un área extensa se ha optado por tener un control del área cultivada mediante percepción remota, lo que da inicio a una nueva área de agricultura de precisión, la agricultura de precisión García y Flego (2008) la definen como: “la utilización y aplicación de las nuevas tecnologías, teniendo en cuenta la diversidad del suelo, el entorno ambiental y las necesidades de las plantas con el fin de gestionar y optimizar la aplicación de insumos (semillas, fertilizantes, fitosanitarios, riego, etc.) para obtener una producción rentable, de calidad y respetuosa con el medio ambiente”.

La necesidad de tener a disposición información de toda la zona cañera, hace necesaria la implementación de la Unidad de teledetección; encargada de realizar mapas de productividad, utilizando como fuente de información imágenes satelitales de Landsat ocho (8), en los que se comparan lotes de las mismas características con el fin de realizar comparaciones quincenales del estado fenológico del cultivo, previo a la obtención de información del satélite landsat se debe realizar una corrección atmosférica.

En el presente documento se detalla el procedimiento para realizar la corrección atmosférica a imágenes satelitales de Landsat ocho (8), haciendo uso del módulo FLAASH del software ENVI, La corrección atmosférica es un proceso que se aplica a las imágenes digitales, con el propósito de eliminar el efecto de los aerosoles y la radiación que se introduce en el sensor y se ve reflejado en la imagen, con el proceso de corrección

atmosférica se logra mejorar la calidad visual de la imagen, estableciendo la metodología para realizar la corrección atmosférica se espera poder procesar las imágenes satelitales con mayor eficiencia y entregar al área de producción los semáforos de productividad de manera más eficiente y poder darle seguimiento a los semáforos de productividad.

En el diagnóstico se identificó que el área de producción considera que los semáforos de productividad no muestra la realidad del estado fenológico del cultivo, también se identificó que parte del personal de área de producción tenía problemas con la interpretación de los semáforos de productividad. Se presenta en el informe de proyectos la problemática de los semáforos de productividad y se describe la metodología de capacitación abordada para mejorar la aceptación de los semáforos de productividad.

Se presentan los resultados obtenidos del análisis y cuantificación de secciones con problemas de maleza, mediante imágenes tomadas con Drones en la zafra 2015 – 2016, que es un servicio prestado por la empresa AEROBOTS DE GUATEMALA en el cual se seleccionan distintas fincas de importancia económica de la zona cañera bajo administración de Pantaleón para ser analizadas con Drones trimestralmente y poder analizar la dispersión espacial de la maleza en el tiempo.

## **3.2 Proyecto I. Manual para la elaboración de la corrección atmosférica de imágenes satelitales landsat ocho (8) en software ENVI 5.1 para la Costa Sur de Guatemala.**

### **3.2.1 Presentación**

La corrección atmosférica es un proceso que se aplica a las imágenes digitales, con el propósito de eliminar el efecto de los aerosoles y la irradiancia intrínseca que se introduce en el sensor y se ve reflejado en la imagen, como producto de la interacción del sensor con la atmósfera. Con el proceso de corrección atmosférica se logra mejorar la calidad visual de la imagen y eliminar el componente intrusivo de la atmósfera (Aguilar, Mora, Vargas, 2014), así se obtienen índices de vegetación más representativos de la realidad del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) útiles para el área de producción. Las imágenes satelitales corregidas atmosféricamente es un servicio que presta el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña, sin embargo se tiene la necesidad de establecer una metodología para realizar la corrección atmosférica en la Unidad de teledetección de Ingenio Pantaleón.

### **3.2.1 Objetivos**

#### **3.2.1.1 Objetivo general**

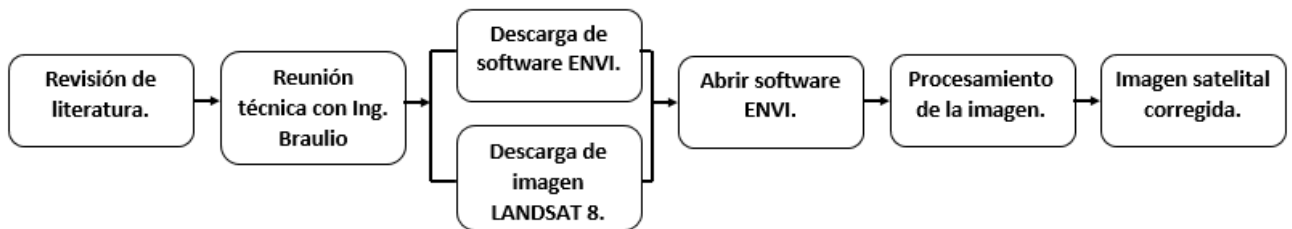
- A. Elaborar manual de corrección atmosférica para imágenes Landsat ocho (8) en software ENVI 5.1.

#### **3.2.1.2 Objetivo específicos**

- A. Identificar los beneficios obtenidos al realizar la corrección atmosférica en la Unidad de teledetección del departamento de Ingeniería Agrícola de Ingenio Pantaleón.

### 3.2.2 Metodología

En la figura 34 se muestra la metodología para la elaboración del manual de la corrección atmosférica, en la fase de revisión de literatura se indago sobre la metodología y software que más se adaptan a la zona de la Costa Sur, se selección el software ENVI por su módulo de Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH), el cual fue recomendado por el departamento de agricultura de precisión del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICAÑA), se realizó una reunión técnica con el Ing. Braulio Villatoro en la que explico la metodología que ellos usan para realizar la corrección atmosférica, la cual es la misma que se presenta en el manual en el anexo I del capítulo III de proyectos realizados



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 34. Metodología para la elaboración de la corrección atmosférica a una imagen satelital landsat ocho (8).

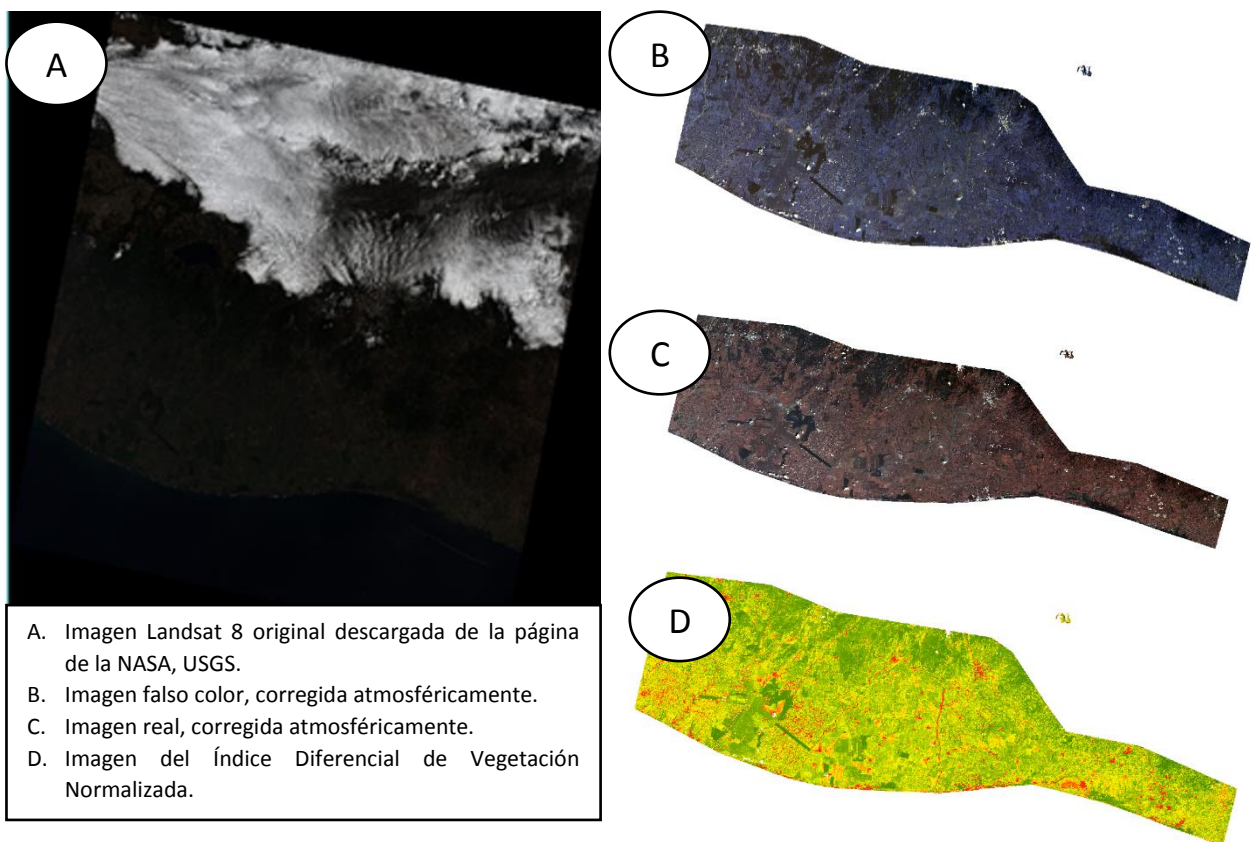
Al tener instalado el software ENVI y descargada la imagen satelital se procedió a documentar cada paso que se realizó en la corrección atmosférica de la imagen satelital. Obteniendo como producto final una imagen satelital corregida atmosféricamente con las mismas características que contiene las imágenes procedentes del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICAÑA).



### 3.2.3 Resultados

En el Anexo I del capítulo III se presenta el manual elaborado en la Unidad de teledetección, para generar la corrección Atmosférica, obteniendo datos idénticos a las imágenes que son proporcionadas por el departamento de agricultura de precisión del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICAÑA).

En la figura 35, se muestra las modificaciones que presentan las imágenes satelitales en el proceso de la corrección atmosférica, la imagen “A” muestra la imagen original que es descarga de la plataforma de la NASA, USGS y la imagen “C” presenta la imagen corregida atmosféricamente. En la imagen D se observa una imagen del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).



**Figura 35. Secuencia de imágenes correspondiente al procedimiento de la corrección atmosférica en el software ENVI 5.1.**

### 3.2.4 Conclusiones y recomendaciones

1. Se elaboró el manual describiendo la metodología para la realización de la corrección atmosférica con FLAASH (Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Hypercubes) para imágenes obtenidas del sensor Landsat ocho (8).
2. Realizar la corrección atmosférica en la Unidad de teledetección, proporciona la capacidad de generar los índices de vegetación en un tiempo más adecuado, dando así una ventana más amplia para la toma de decisiones en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) por parte del área de producción.
3. Se recomienda continuar descargando imágenes del sensor LANDSAT 8 e investigar otros sensores que estén disponible sus imágenes y nuevos índices de vegetación, con mejor resolución espacial y menor resolución temporal,

### 3.2.5 Bibliografía

1. Universidad de Palermo, Argentina. 2008. Ciencia y tecnología. *In* García, E; Flego, F. Agricultura de precisión. 8 ed. Argentina. 100 p. Consultado 15 mar. 2016. Disponible en <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>

### **3.3 Proyecto II. Capacitación en el uso, interpretación y representatividad de los productos de los semáforos de productividad desarrollados por la Unidad de Teledetección al personal de producción de Ingenio Pantaleón.**

#### **1.3.1 Presentación**

Los semáforos de productividad, son mapas en los que se comparan lotes de toda el área productiva de Pantaleón con las mismas características edafoclimáticas y misma variedad, se clasifican los lotes mediante colores; verde, amarillo y rojo, que están relacionados a los valores numéricos promedio que muestran los índices de vegetación. El color amarillo muestra que está en valores promedio de índice de vegetación, rojo muestra que está media desviación estándar abajo del promedio y el verde muestra que están media desviación estándar arriba de la media de índice de vegetación con los lotes que fue comparado.

#### **1.3.2 Objetivos**

##### **1.3.2.1 Objetivo general**

A. Capacitar a los jefes de zona del área de producción sobre la interpretación y representatividad de los semáforos de productividad que genera la Unidad de teledetección.

##### **1.3.2.2 Objetivos específicos**

A. Identificar mejores en la interpretación y representatividad de los semáforos de productividad posterior a la capacitación al área de producción.

B. Validar en campo los semáforos de productividad realizados por la Unidad de teledetección.

### 1.3.3 Metodología

- **Detección de la problemática**

En la fase del diagnóstico se identificó mediante entrevistas, utilizando la técnica del diferencial semántico, la problemática existente en el área de producción con la representatividad e interpretación de los semáforos de productividad realizados la Unidad de teledetección del departamento de Ingeniería Agrícola.

- **Solicitud de reunión con el área producción de Ingenio Pantaleón.**

En esta etapa se contactó con los jefes de zona del área de producción, para programar la capacitación de la interpretación de los semáforos de productividad. Así como la validación de la representatividad de los semáforos de productividad en el campo.

- **Reunión y gira de campo con jefes de zona del área de producción de Ingenio Pantaleón.**

El 1 de Abril de 2016, se realizó la explicación de la metodología de elaboración de los semáforos de productividad, los criterios que se seleccionaron para su elaboración y su interpretación. Los criterios seleccionados fueron variedad, tipo de suelo, quincena de corte y estrato en el que se encuentran los lotes.

Posterior a la explicación se visitaron las áreas propuestas por el área de producción, en la que según los mapas de índices de vegetación mostraba áreas despobladas, el semáforo de productividad más cercano a la fecha de 1 de abril muestra áreas con deficiencias y se comprobó la representatividad del semáforo de productividad, visitando y validando en campo que de hecho estaban despobladas esas áreas.

### 1.3.4 Resultados

En el cuadro 12 se muestra los resultados obtenidos mediante la técnica del diferencial semántico, posterior a la realización de la explicación a los 11 jefes de zona, cómo interpretar el semáforo de productividad y su validación en campo, en finca El para de la zona agrícola Bonampak de Ingenio Pantaleón.

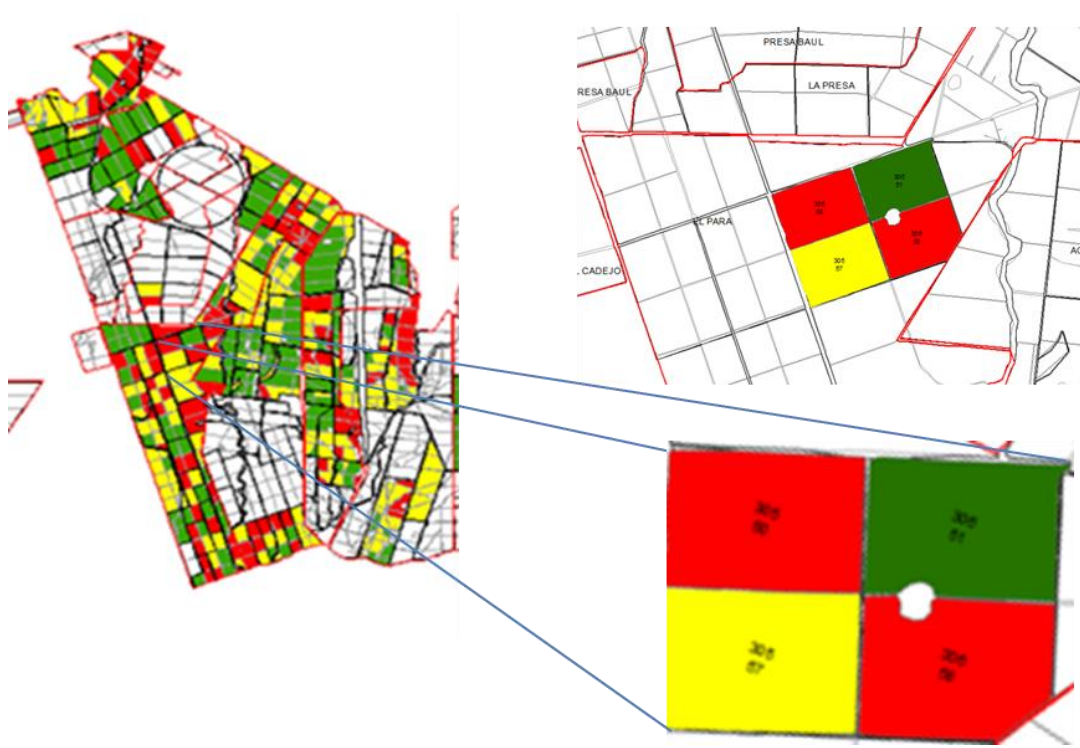
Se compararon los resultados obtenidos de las entrevistas posterior a la explicación del semáforo de productividad y la gira de campo en la que se comprobó la representatividad del semáforo de productividad contra los resultados obtenidos en el cuadro 2 en el capítulo I, siendo la variable representatividad en campo del semáforo de productividad, la que mejor respondió a la capacitación, aumentando de 69 a 78 %, ya que se visitaron zonas seleccionadas por el área del producción donde se mostraban deficiencias en el mapa y fueron identificadas de igual manera en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum Spp*).

**Cuadro 12. Cuadro de resultados de la entrevista realizado posterior a la explicación del semáforo de productividad y gira de campo para validar la representatividad.**

Semáforo de productividad						
Numero de Entrevistado	pregunta					Ideal
	Interpretacion	Importancia	Disponibilidad	Realidad en campo	Util para toma de desiciones	
	Escala					
	No entenable - Entendible	Sin importancia - Importante	Malo - Bueno	Malo - Bueno	Inutil - Util	
1	7	7	5	6	5	7
2	6	7	6	5	6	7
3	6	6	6	7	4	7
4	5	7	5	5	5	7
5	6	7	6	4	6	7
6	7	6	6	6	5	7
7	7	7	7	5	7	7
8	6	6	7	6	7	7
9	7	7	5	5	7	7
10	6	6	4	5	6	7
11	6	7	5	6	7	7
Total	69	73	62	60	65	77
% del ideal	90%	95%	81%	78%	84%	100%

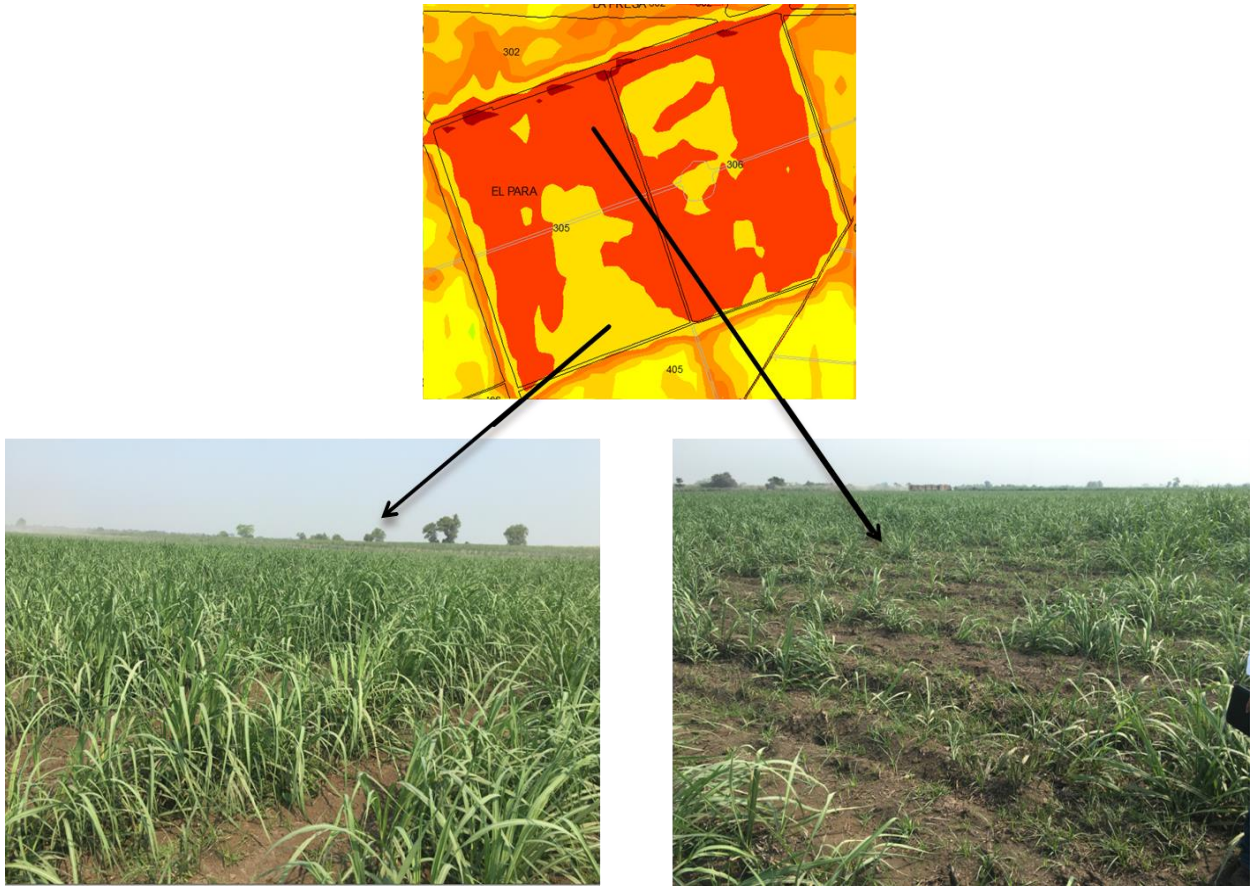
La Interpretación de los semáforos de productividad tuvo un aumento respecto a los datos obtenidos en la fase de diagnóstico en el (cuadro 2), aumentando de 87 % de interpretación previo a la explicación, a 90 % posterior a la explicación.

En la figura 36 se muestra el área seleccionada por el área de producción de Ingenio Pantaleón para la validación del semáforo de productividad en campo.



**Figura 36. Semáforo de productividad de zona agrícola Bonampak, Finca El Para, lotes 305 y 306.**

En la figura 37 se muestra el estado en que estaba el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum Spp*) en la gira realizada con el área de producción, el color amarillo explica áreas con mayor densidad y mejor calidad y el área anaranjada representa área con menor densidad y de menor calidad.



**Figura 37. Fotografía de gira de campo zona agrícola Bonampak 1 de abril de 2016, Finca El Para, lote 305.**

### 1.3.5 Conclusiones y recomendación.

1. Se capacitó al área de producción de Ingenio Pantaleón, en la cual llevo a cabo la validación de la representatividad del semáforo de productividad en campo en la zona agrícola Bonampak.
2. Se obtuvo aumento de 9 % en la aceptación del semáforo de productividad, siendo la aceptación en la etapa de diagnóstico de 69 % posterior a la gira de campo es de 78 %. La interpretación de los semáforos de productividad se mejoró en 3 %, siendo en la fase del diagnóstico de 87% y posterior a la explicación aumento a 90%.
3. Se demostró en finca El Para perteneciente a zona agrícola Bonampak, en los lotes 305 y 306 seleccionados por el área de producción de Ingenio Pantaleón, que un descenso en valores del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada relacionado al color anaranjado en la imagen 37 representa deficiencias en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.)
4. Se recomienda que la Unidad de teledetección cada inicio se zafra realice una capacitación de los semáforos de productividad para el nuevo personal que labore en el área de producción.



### **3.4 Proyecto III. Análisis de secciones con presencia de maleza mediante percepción remota en áreas seleccionadas para la toma de imágenes con drones utilizando el software ArcGis 10.3.**

#### **3.4.1 Presentación**

Se generaron y enviaron mapas de las distintas zonas cañeras de producción seleccionadas para la inspección de presencia de maleza mediante percepción remota, los cuales llevaban incorporados tablas con la cuantificación de maleza por finca. Mapas que le servía a la gerencia del Ingenio Pantaleón para darle seguimiento a las fincas en el manejo del cultivo y el comportamiento de la dinámica de la población, es decir si el encargado del control de maleza ha realizado correctamente su labor, los análisis no mostrarán un aumento en el área con presencia de maleza.

#### **3.4.2 Objetivos**

##### **3.4.2.1 Objetivo general**

- A. Ubicar y cuantificar áreas con presencia de maleza, mediante percepción remota, haciendo uso de drones.

##### **3.4.2.2 Objetivos específicos**

- A. Generar tablas de resumen cuantitativas de área con presencia de maleza de las zonas de producción seleccionadas.
- B. Generar mapas de dinámica de población de maleza, influenciados por las prácticas agrícolas realizadas.

### 3.4.3 Metodología

- Selección de área para la toma de imágenes.

El área de producción, se encargó de seleccionar las fincas que se volaron con drones, según requerimientos de las zonas, para analizar la ubicación y cuantificación de áreas con presencia de maleza.

- Realización de los vuelos.

La empresa Aerobots de Guatemala, presta el servicio de drones a Ingenio Pantaleón, así mismo fue la encargada de la toma y procesamiento de las imágenes de los drones, los vuelos se realizaron cada 2 a 3 meses dependiendo las condiciones climáticas.

- Recepción de información.

La empresa Aerobots de Guatemala envió los links de descarga de las imágenes capturadas con drones, para ser descargadas, analizadas y procesadas en el proceso de teledetección del departamento de Ingeniería Agrícola de Ingenio Pantaleón.

- Procesamiento de la imagen.

El procesamiento de las imágenes inicio con la generación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Para facilitar la identificación de aéreas con presencia de maleza, para cada imagen de los distintos vuelos, luego se realizó un análisis visual en el que se identificaban las áreas con presencia de maleza, y posterior se generaban polígonos para obtener el área en hectáreas para su posterior cuantificación y análisis en el tiempo.

- Análisis de información.

Con el área que se obtuvo con presencia de maleza en los diferentes vuelos se analizó la dinámica de la misma, si aumentó o disminuyó la sección con focos de maleza, esto permitirá tener una referencia del manejo del cultivo que se le está realizando a los lotes.

### 3.4.5 Resultados

Se realizó el análisis de ubicación y cuantificación de áreas con presencia de maleza mediante percepción remota en 22,448 hectáreas pertenecientes a la administración de Ingenio Pantaleón. Siendo esta el 42% del área total de las finca bajo administración. Las zonas de producción seleccionadas fueron: zona Bonampak, Limones, Playa grande, Paso Antonio y California. En el cuadro 13 se muestran las fincas pertenecientes a zona Agrícola Bonampak ubicada en el municipio de la gomera y su área correspondiente, así como el área cuantificada de maleza en cada uno de los vuelos realizados con Drones de la empresa Aerobots.

**Cuadro 13. Área cuantificada en hectáreas con presencia de maleza en los vuelos 1, 2, 3, y 4 en Zona Agrícola Bonampak.**

ZONA	FINCA	HECTAREAS	AREA TOTAL MALEZAS POR VUELO/hectárea			
			VUELO 1	VUELO 2	VUELO 3	VUELO 4
			mar-16	may-16	ago-16	oct-16
BONANPAK	PRESA BAUL	128.46	0.04	0.03		0.00
	LA PRESA	438.19	0.06	3.12	1.63	0.11
	BONAMPAK	466.69	2.75	5.67	22.09	1.08
	LAS PAMPAS	215.80	0.24	0.71	4.00	0.14
	AGRICOLA	728.27	0.13	3.92	6.41	1.10
	EL PARA	693.47	0.37	29.49	9.93	0.12
	EL PORTAL	404.46	0.36		0.04	
	LIMONCITOS	267.32		0.10		0.51
	PRESA BAUL	400.30	0.07	0.36	5.04	0.69
EL CADEJO	33.53	0.01	0.19	1.04		
<b>TOTAL MALEZAS POR VUELO</b>		<b>3776.49</b>	<b>4.02</b>	<b>43.60</b>	<b>50.17</b>	<b>3.76</b>

En el cuadro 14 se muestran las fincas pertenecientes a zona Agrícola Limones ubicada en los municipios de la gomera y Santa Lucia Cotzumalguapa y su área correspondiente, así como el área cuantificada de maleza en cada uno de los vuelos realizados con Drones de la empresa Aerobots.

**Cuadro 14. Área cuantificada en hectáreas con presencia de maleza en los vuelos 1, 2, 3, y 4 en Zona Agrícola Limones.**

ZONA	FINCA	HECTAREAS	AREA TOTAL MALEZAS POR VUELO/hectárea			
			VUELO 1	VUELO 2	VUELO 3	VUELO 4
			mar-16	may-16	ago-16	oct-16
LIMONES	AGROPECUARIA CHURUBUSCO	128.46	0.02			0.04
	EL PARAISO	33.19			2.99	
	AGROPECUARIA CHURUBUSCO	293.32	0.11			0.03
	AGUA BLANCA	865.18				0.60
	AGROPECUARIA CHURUBUSCO	960.78	10.43	4.00	19.93	0.36
	LOS MANGOS	174.47	2.87		0.79	0.04
	OBRAJE	718.00	0.09	0.98	2.01	0.22
	LIMONES S.A.	1421.32	10.18	1.26	2.93	0.21
	EL CHAPARRAL LA GOMERA	78.59	0.55		0.25	
	MAYA PAPAYA	18.89	0.13		1.57	
	HOJA VERDE	21.20	0.48		0.75	
<b>TOTAL MALEZAS POR VUELO</b>		<b>4713.41</b>	<b>24.85</b>	<b>6.24</b>	<b>31.20</b>	<b>1.50</b>

En el cuadro 15 se muestran las fincas pertenecientes a zona Agrícola Playa Grande ubicada en el municipio de la gomera y su área correspondiente, así como el área cuantificada de maleza en cada uno de los vuelos realizados con Drones de la empresa Aerobots.

**Cuadro 15. Área cuantificada en hectáreas con presencia de maleza en los vuelos 1, 2, 3, y 4 en Zona Agrícola Playa Grande.**

ZONA	FINCA	HECTAREAS	AREA TOTAL MALEZAS POR VUELO/hectárea			
			VUELO 1	VUELO 2	VUELO 3	VUELO 4
			mar-16	may-16	ago-16	oct-16
PLAYA GRANDE	LIMONES 9	167.56				0.12
	PLAYA GRANDE	128.46	0.05			
	LA CUCHILLA	238.84	0.10	0.58	2.52	0.64
	PLAYA GRANDE	909.82	3.05	6.68	9.63	8.79
	PLAYA GRANDE	293.32	0.69			
	TEXAS	194.10		0.49	1.29	0.25
	LA HAVANA	195.13	0.12		0.27	0.41
	LIMONES PANTALEÓN	632.11	1.13	0.18	1.47	1.61
	ANAITE	666.30	1.27	0.48	5.53	0.27
	OFELIA SANTA MARTA	173.90		0.31	2.66	2.79
	BASCONIA	331.46	0.98	2.62	7.98	
	MONTE CRISTO Pantaleón	45.19		0.01		0.32
	EL ESFUERZO FAJARDO	12.42		0.13	0.14	0.16
	BOLIVIA OQUENDO	43.96	0.65	0.96	4.65	0.04
	EL HILADERO	577.16	1.31	0.02	12.94	0.61
	CERRITOS SALAZAR	25.78			0.37	0.16
	CERRITOS SALAZAR	29.87			2.15	0.35
	MONTEVIDEO PERALTA	15.65	0.02		0.16	0.04
	SAN GABRIEL DE PAZ	13.98		0.24	0.38	0.32
NUEVA. PROVIDENCIA	301.33	1.01	4.51	4.15	0.16	
<b>TOTAL MALEZAS POR VUELO</b>		<b>4996.32</b>	<b>10.38</b>	<b>17.21</b>	<b>56.29</b>	<b>17.02</b>

En el cuadro 16 se muestran las fincas pertenecientes a zona agrícola Paso Antonio ubicada en los municipios de Masagua y Guanagazapa y su área correspondiente, así como el área cuantificada de maleza en cada uno de los vuelos realizados con Drones de la empresa Aerobots.

**Cuadro 16. Área cuantificada en hectáreas con presencia de maleza en los vuelos 1, 2, 3, y 4 en Zona Agrícola Paso Antonio.**

ZONA	FINCA	HECTAREAS	AREA TOTAL MALEZAS POR VUELO/hectárea			
			VUELO 1	VUELO 2	VUELO 3	VUELO 4
			mar-16	may-16	ago-16	oct-16
PASO ANTONIO	PASO ANTONIO	738.55	4.00	1.27	1.06	0.37
	LA VIRGEN	154.92	0.10	0.40	2.00	0.03
	ALBANIA OLIVERO	362.32	0.46	1.56	2.04	0.96
	PUNIAN II	136.80	0.60	0.57	1.23	
	PUNIAN DEL CASTILLO	551.78	0.85	1.15	4.53	0.48
	ANEXO EL PARAISO	9.68	0.00		0.10	0.04
	EL PRADO	160.72	0.22	1.07	0.79	0.12
	SAN MARTIN	309.19	0.01	0.02		
	LA PROMESA	102.66	0.04	0.22	0.33	
	EL PARAISO	180.71	0.07	0.84	7.67	0.04
	PALO GACHO	137.70	0.16	0.50		0.01
	LA FLORIDA GRANAI	355.10	1.41	0.30	8.34	0.14
	PARCELA SAGATUME	22.78	0.44	0.41	0.20	
	EL TROPICO	25.65	0.05	0.05	1.35	
	PARCELA MUÑOZ	7.84		0.35		
	JOSE FELIX	28.45	0.74	2.67	0.09	0.04
	EL ANGEL BONILLA	20.92	0.01		1.20	
	BARILOCHE	115.23		0.62		0.05
	PASO ANTONIO FISCHER	117.39	0.13		0.50	
	EL PERU CASTILLO	117.28	0.06	1.13		
FLORATO	538.02	0.23	0.04	1.21	0.08	
RENACIMIENTO VILLALTA	76.36	0.13				
<b>TOTAL MALEZAS POR VUELO</b>		<b>4270.03</b>	<b>9.73</b>	<b>13.17</b>	<b>32.63</b>	<b>2.35</b>

En el cuadro 17 se muestran las fincas pertenecientes a zona Agrícola California ubicada en los municipios de Masagua, Iztapa y Taxisco y su área correspondiente, así como el área cuantificada de maleza en cada uno de los vuelos realizados con Drones de la empresa Aerobots.

**Cuadro 17. Área cuantificada en hectáreas con presencia de maleza en los vuelos 1, 2, 3, y 4 en Zona Agrícola California.**

ZONA	FINCA	HECTAREAS	AREA TOTAL MALEZAS POR VUELO/hectárea			
			VUELO 1	VUELO 2	VUELO 3	VUELO 4
			mar-16	may-16	ago-16	oct-16
CALIFORNIA	SANTA ANITA	230.99	0.10	0.54	1.91	0.18
	SANTA MARGARITA	113.61	0.02	1.06	0.60	
	SAN RAFAEL	505.40	0.18	10.08	10.83	
	CALIFORNIA	1317.21	1.18	10.12	3.44	0.17
	EL SILENCIO CONCEPCIÓN	123.57	1.34	0.28	1.09	
	CALIFORNIA	14.24			0.01	
	EL JOBO	83.28			0.61	
	EL TREBOL II	136.20			0.69	
	EL SUNZO	167.33			1.30	
	EL TREBOL	77.06			1.32	
	ALTAMIRA	143.04	8.42	0.90	2.09	
	LOS JUILINES	193.83	0.54	1.32	1.96	0.07
	LA ESPERANZA	115.31	0.18	0.68	0.20	0.04
	LA CABAÑA	198.69	0.10	0.02	0.36	
	EL EDEN	257.61	0.54	0.62	1.55	
	PULIDO	127.80	0.46	0.77	0.01	
	JR_MELENDEZ	11.70	0.02			
	JR_MELENDEZ_II	11.84	0.86			
	ROSARIO ECHEVERRIA	73.78	0.05		0.37	
	MONTE ALEGRE ZEPEDA	20.63	0.13			
	EL MOLINO UFER	117.84	0.15	0.59	1.43	1.32
	TRES CEIBAS	50.23	0.01			
	EL SILENCIO II	54.27			1.98	
	LAS GARCITAS	28.42	0.06			
HACIENDA EL TORNASOL	269.89			2.53	0.81	
PORTO BELLO	248.86	0.55		0.13	0.02	
<b>TOTAL MALEZAS POR VUELO</b>		<b>4692.63</b>	<b>14.86</b>	<b>26.99</b>	<b>34.38</b>	<b>2.60</b>

En el Cuadro 18 se muestran las precipitaciones obtenidas para el mes de Agosto de las estaciones monitoreadas por el Instituto Privado de Investigación Contra el Cambio Climático ICC.

**Cuadro 18. Precipitación para el mes de Octubre de las estaciones más cercanas a las fincas analizadas con presencia de maleza.**

Estación					
Tehuantepec la gomera		Amazonas Masagua		Bouganvilia La Gomera	
Fecha	PP en mm	Fecha	PP en mm	Fecha	PP en mm
Agosto	311	Agosto	283.2	Agosto	299.2

Fuente: ICC, 2016.

El 3er. Vuelo de agosto de 2016, es el cual las fincas bajo administración de Ingenio Pantaleón se encuentra más afectado por presencia de maleza, esto se debe a que las actividades agrícolas se ven afectadas ya que no es época de zafra, lo cual el personal es reducido.

Complementándolo con el reporte de precipitación del Instituto Privado de Investigación Contra el Cambio Climático ICC del año 2016, para agosto se presentó el mayor número de precipitaciones lo cual se relaciona al alto índice de presencia de maleza.

En el cuadro 13 se observa que la finca la cual le dieron el mejor seguimiento a la maleza es finca Presa Baúl con 128 hectáreas, tiene promedio de área con maleza en los 4 vuelos de 0.03 hectáreas a diferencia de la finca el para en el cuadro 13, con 693 hectáreas de cultivo, el promedio de área maleza en los 4 vuelos es de 9.98 hectáreas.

Sin embargo se puede observar en el cuadro 14, la finca Limones S.A. con un área de cultivo de 1421 hectáreas, tiene de promedio de área con presencia de maleza en los 4 vuelos 3.64 hectáreas. De igual manera en el cuadro 17 se muestra la finca California con 1371 hectáreas de cultivo, tiene únicamente 3.72 hectáreas con presencia de maleza.

Lo que nos indica que extensas áreas de cultivo no indica focos grandes de maleza, si no que depende de la capacidad del encargado para realizar sus labores.



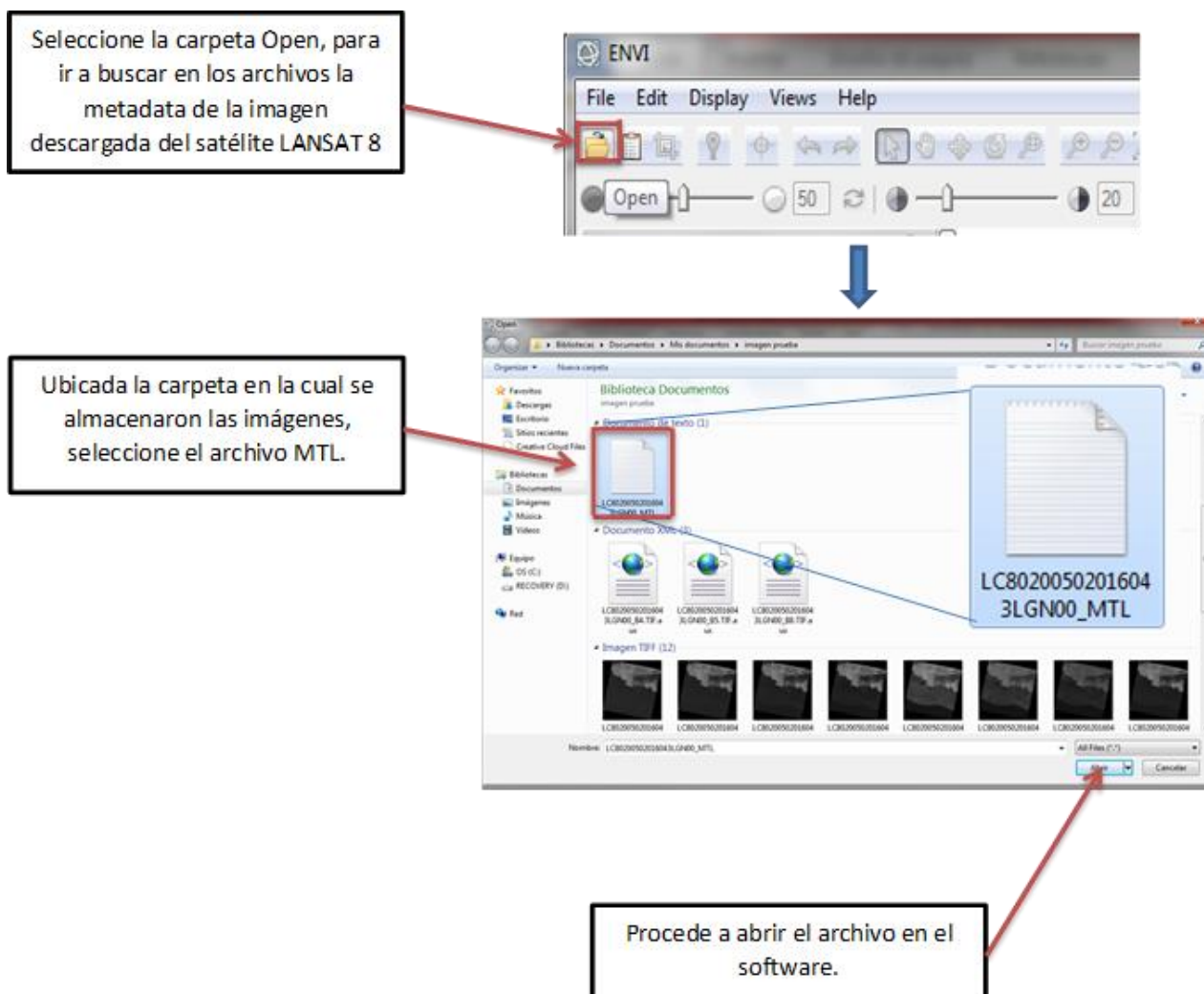
### **3.4.6 Conclusiones**

1. Se ubicó y cuantifico áreas con presencia de maleza mediante percepción remota, en 22,448 Hectáreas de las 54,000 hectáreas bajo administración de Ingenio Pantaleón.
2. Se generaron tablas de resumen cuantitativas con presencia de maleza de las 5 zonas seleccionas; Zona Agrícola Bonampak, Zona Agrícola Limones, Zona Agrícola Playa Grande, Zona Agrícola Paso Antonio y Zona Agrícola California.
3. Se generaron mapas de dinámica de población de maleza de las 5 zonas seleccionas; Zona Agrícola Bonampak, Zona Agrícola Limones, Zona Agrícola Playa Grande, Zona Agrícola Paso Antonio y Zona Agrícola California.

**3.5 Anexos de proyecto I del Capítulo III.**

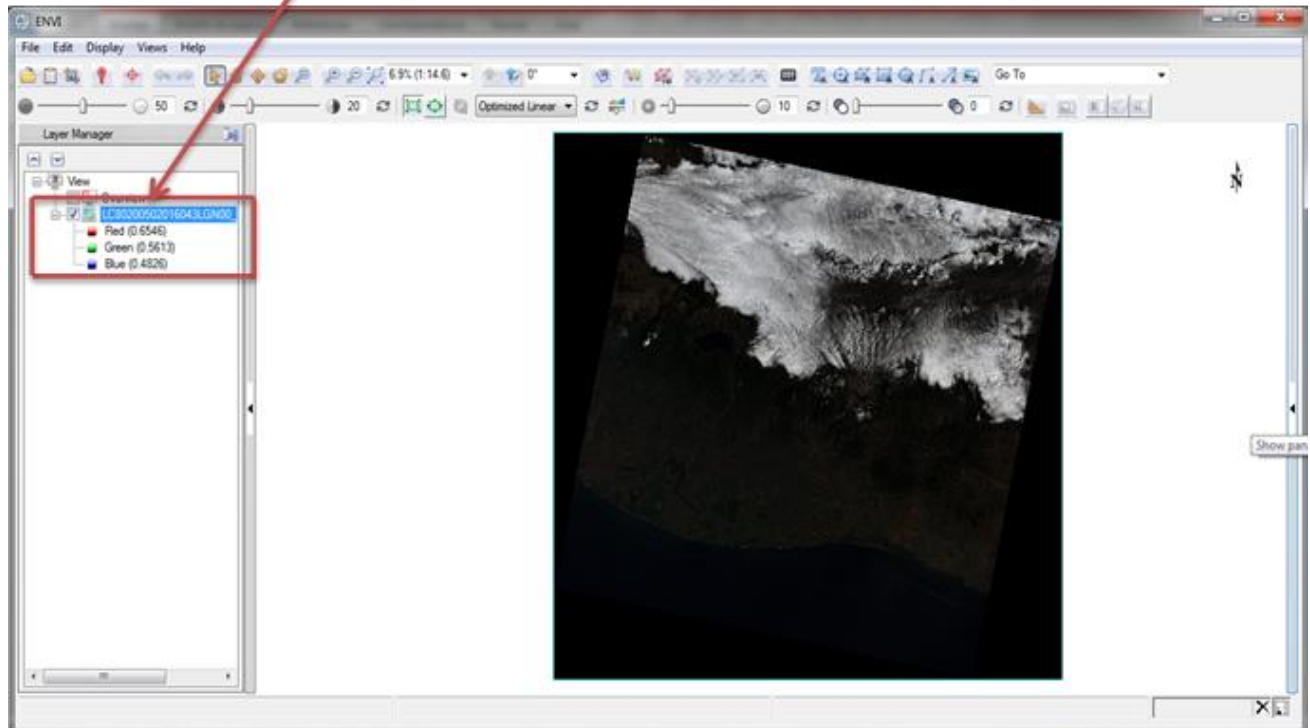
**Corrección atmosférica para imágenes satelitales  
Landsat ocho (8) en software ENVI 5.1. Para la Costa Sur de  
Guatemala.**

En la secuencia siguiente se presenta la metodología para la elaboración de la corrección atmosférica. Iniciando el proceso cargando la imagen al software ENVI.



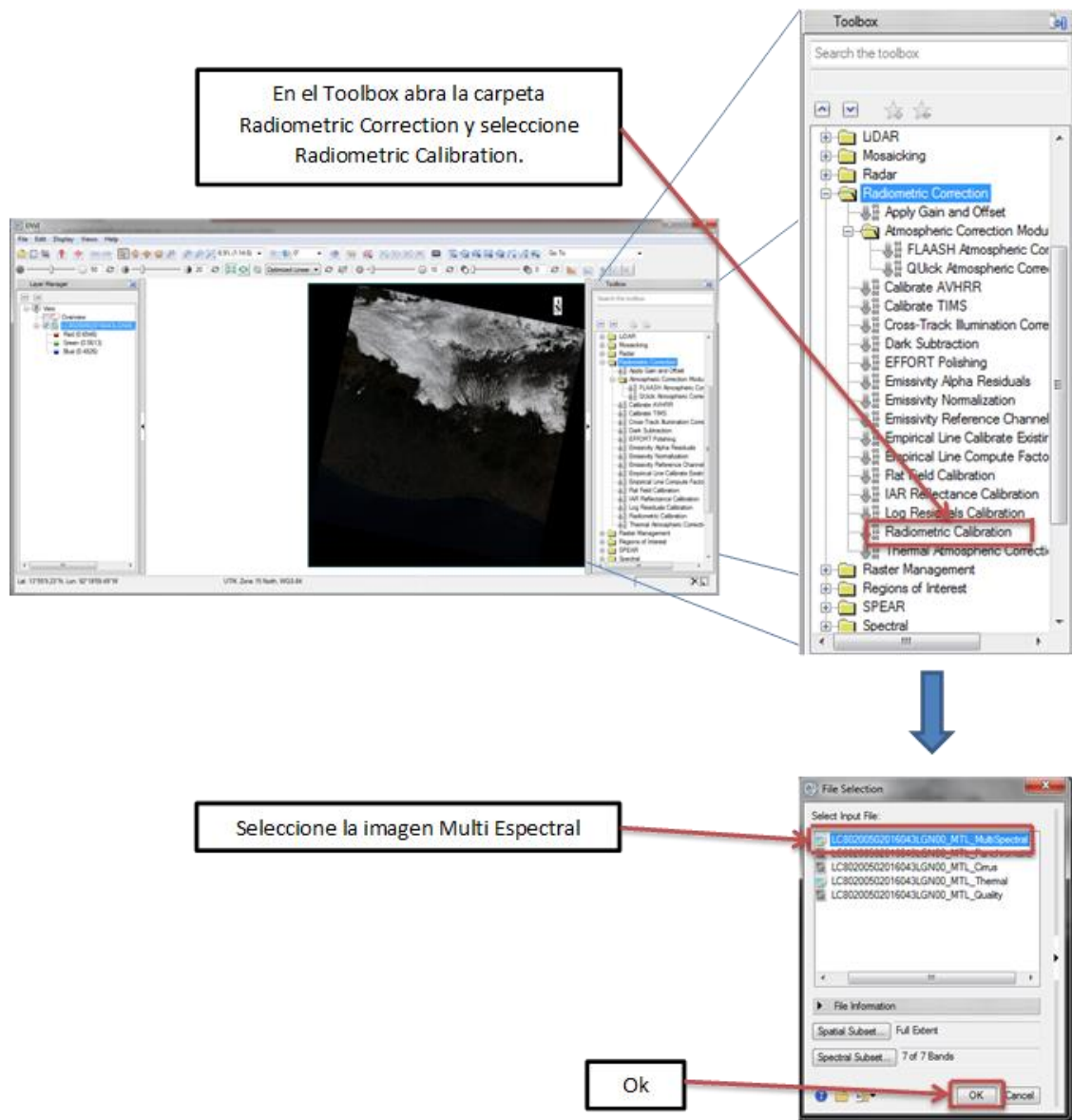
Nota. Archivo Metadata o Archivo MTL se denomina a las categorías de imágenes 3D la cual contiene la información de la geo referencia y características de la imagen.

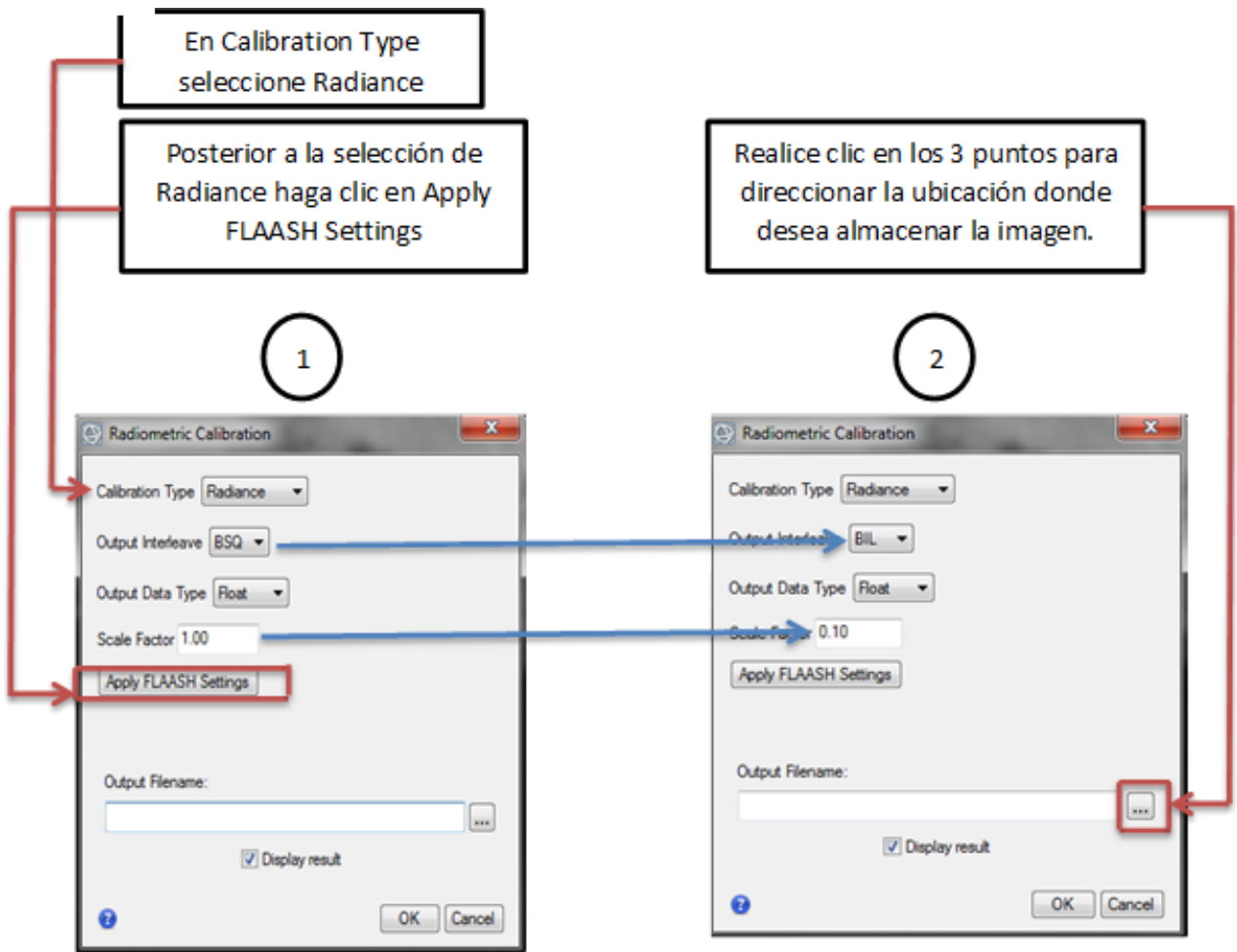
Aquí observa la imagen cargada en el software ya lista para realizar la segunda fase que corresponde a la Calibración Radiométrica.



### Calibración Radiométrica

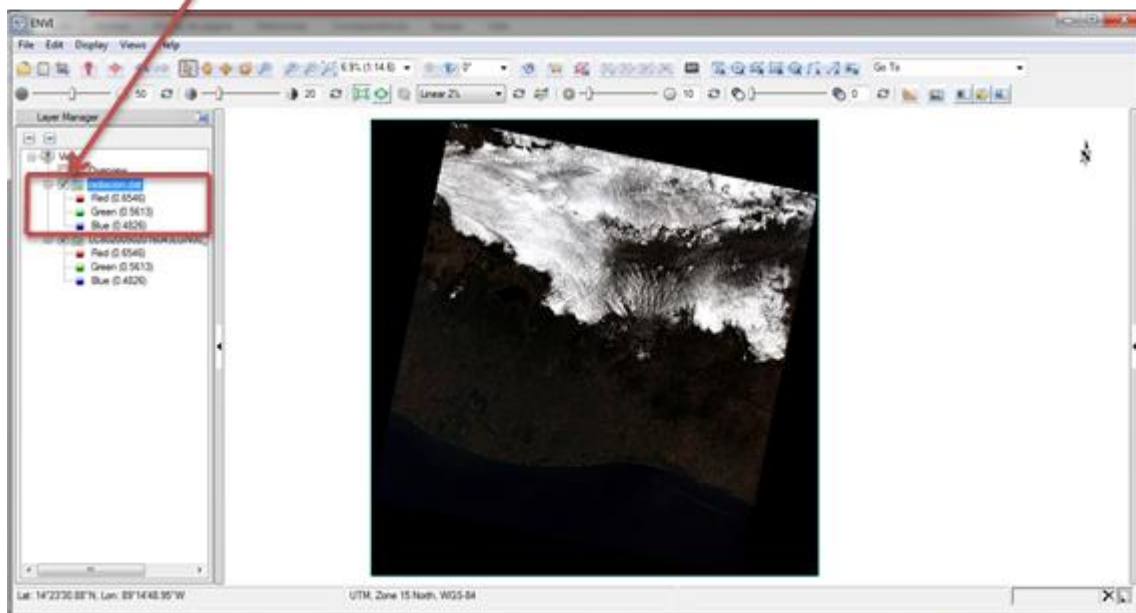
Para realizar la corrección atmosférica en una imagen LANSAT o cualquier otra imagen obtenida mediante un sensor óptico. El primer paso es convertir los Números digitales (datos almacenados en la imagen) a valores de radiancia (Ing. Braulio Villatoro, 2016). Ya que dichos niveles digitales no representan de manera directa las variables biofísicas del área a estudiar, por lo tanto no es conveniente utilizar estos valores crudos para obtener índices espectrales.





Quando se hace clic en Apply FLAASH Settings se crea una imagen de radiación adecuada para el proceso con las siguientes características; Intercalación BIL, tipos de datos de punto flotante y un factor de escala de 0.1, este factor de escala hace que la imagen original estando su escala de los datos en Unidades en  $mW/(m^2 \cdot SR \cdot nm)$  sean  $mW/(cm^2 \cdot SR \cdot nm)$ . Las imágenes se almacenan en un formato u otro para facilitar las manipulaciones de imágenes. Por ejemplo, el formato BSQ (banda secuencial) es óptimo para acceder a la información espacial de imagen (XY). El formato BIP (banda entrelazada por píxel) es óptimo para acceder a la información espectral de imagen (Z). El formato BIL (banda entrelazada por línea) es un formato de compromiso, en su mayor parte, que permite un acceso bastante fácil a la información espacial y espectral.

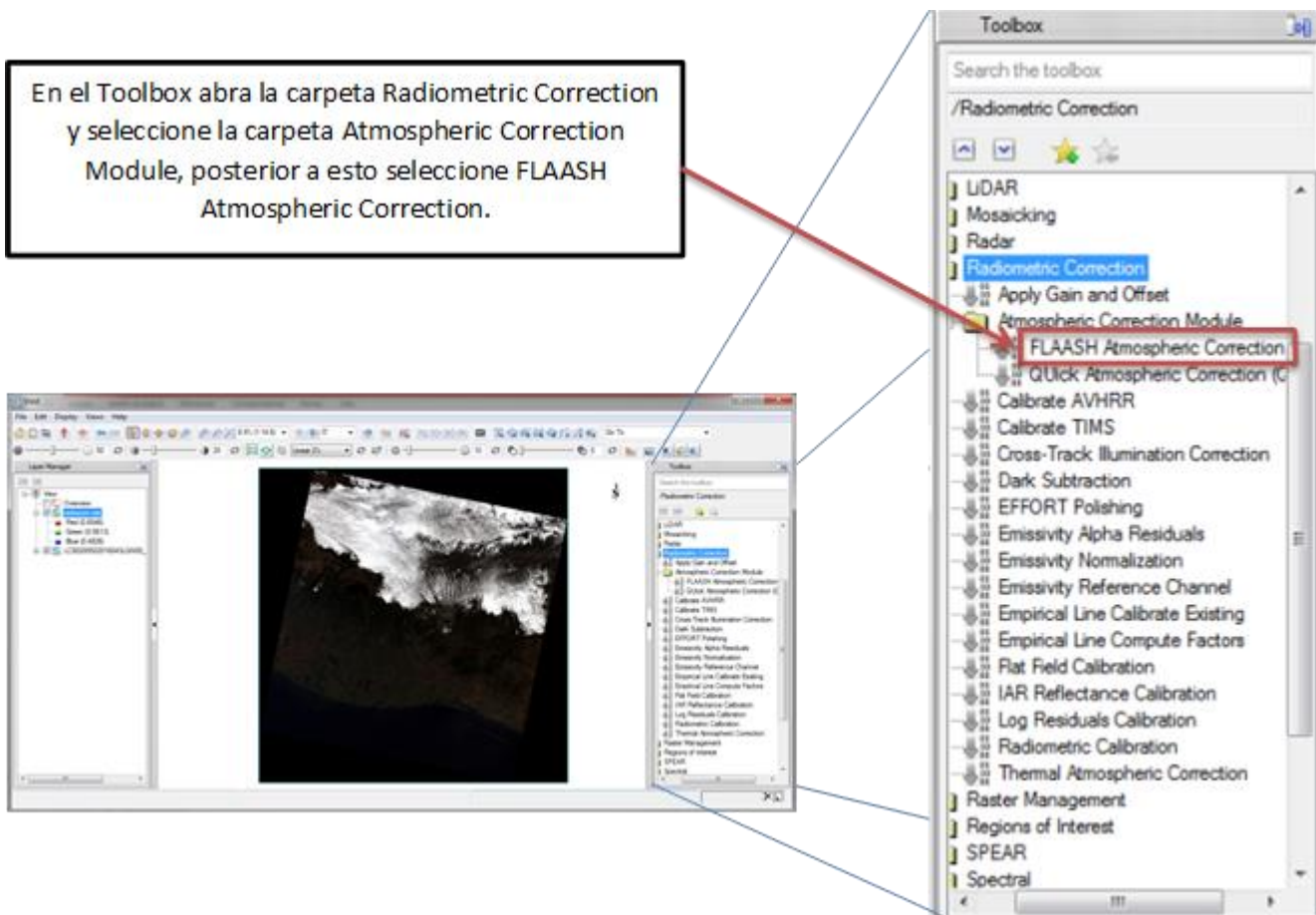
Aquí se observa la imagen de radiancia ya generada con el nombre de radiación, lista para realizar la reflectancia.



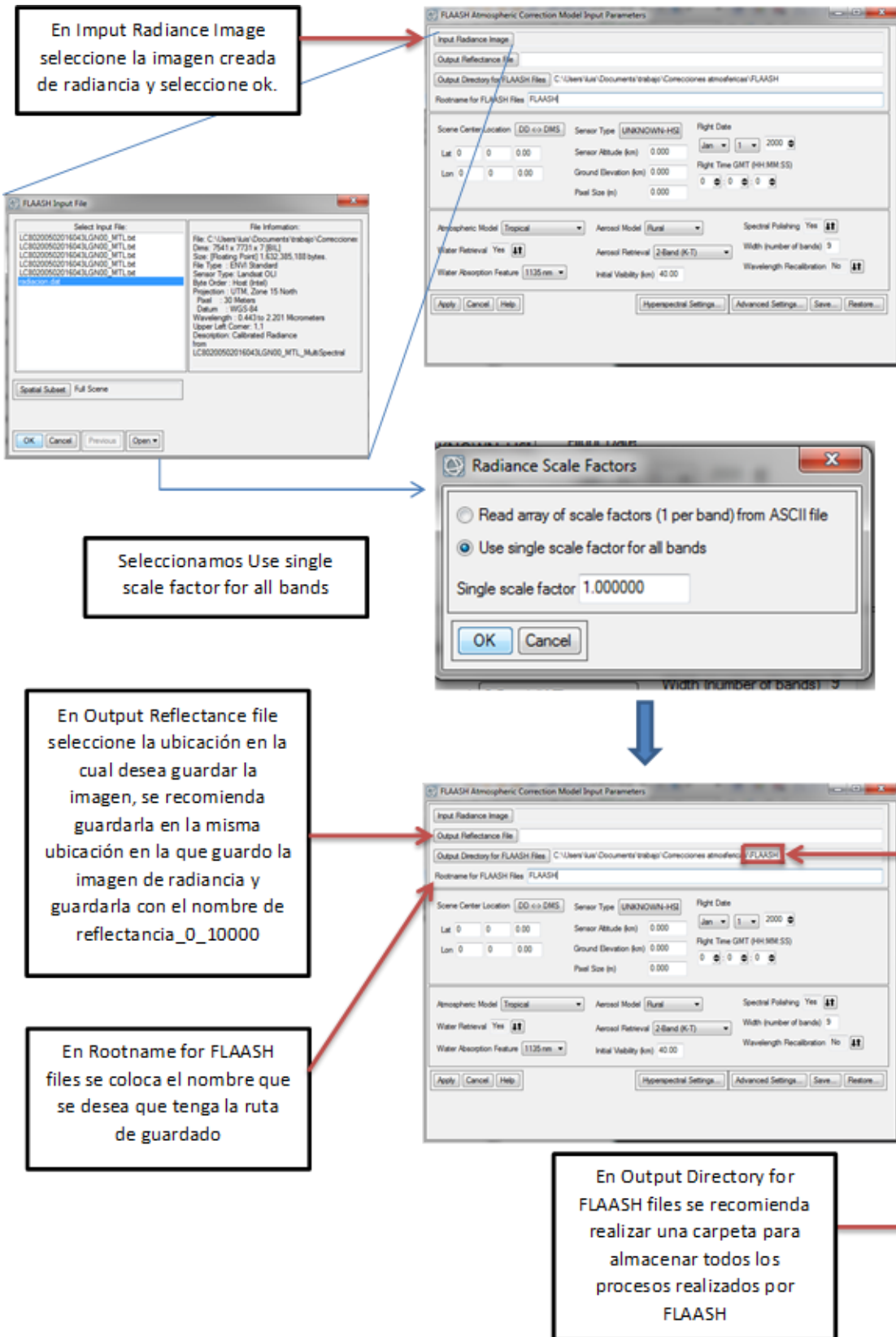
## Correction Atmosférica con FLAASH (Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Hypercubes).

FLAASH es una herramienta de corrección atmosférica que corrige longitudes de onda del infrarrojo visible a través de las regiones infrarrojo cercano y de onda corta, de hasta 3 micras. FLAASH trabaja con la mayoría de los sensores hiperspectrales y multiespectrales. FLAASH puede corregir las imágenes recogidas en cualquiera de las geometrías (nadir) o rasgados de visión vertical.

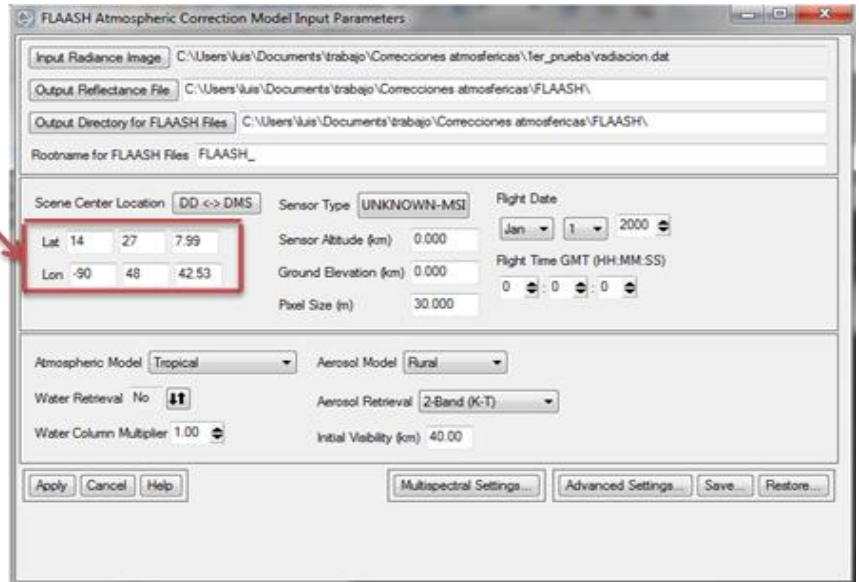
Con FLAASH se realiza la conversión de Valores de Radiancia a Valores de Reflectancia aparente (es decir la Reflectancia en el sensor). En esta parte obtendrá valores de Reflectancia entre 0 y 10000.



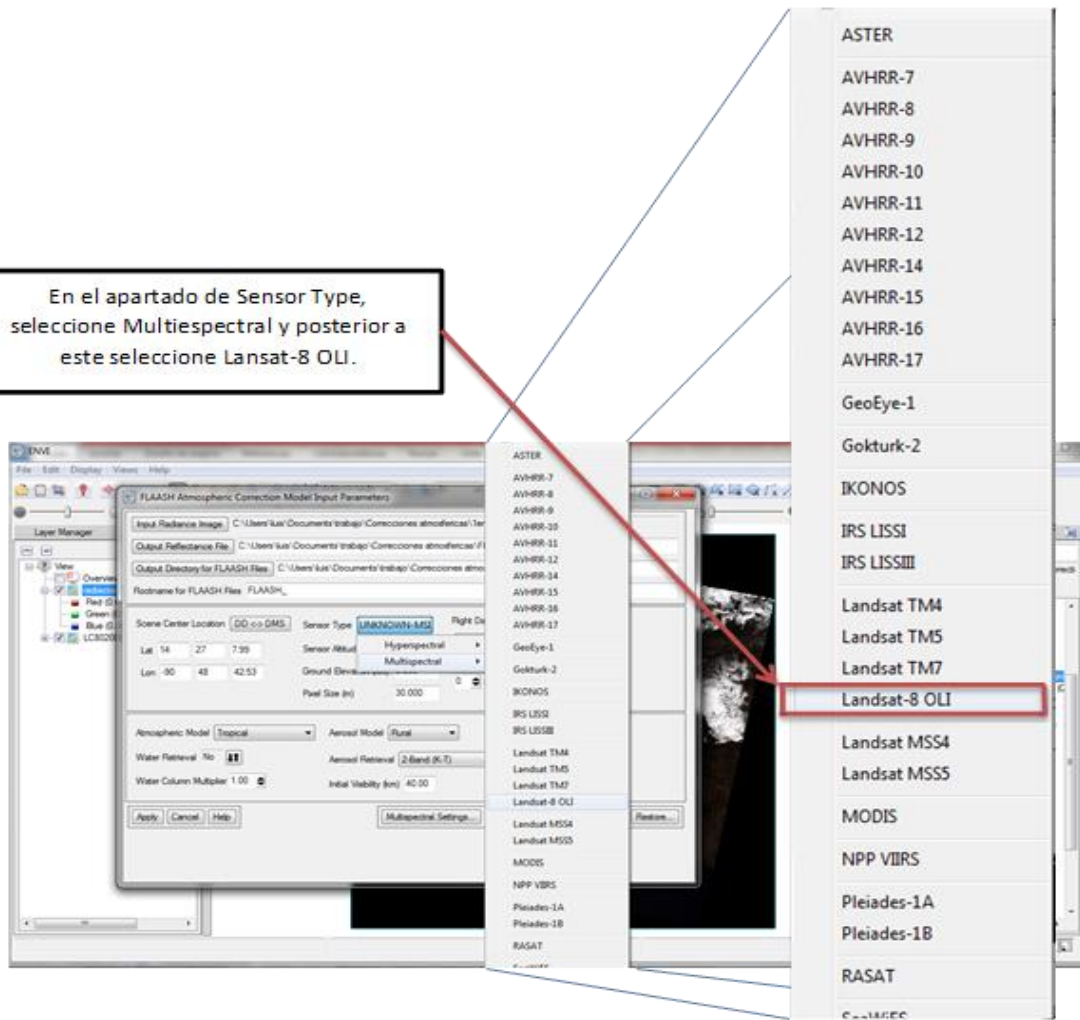




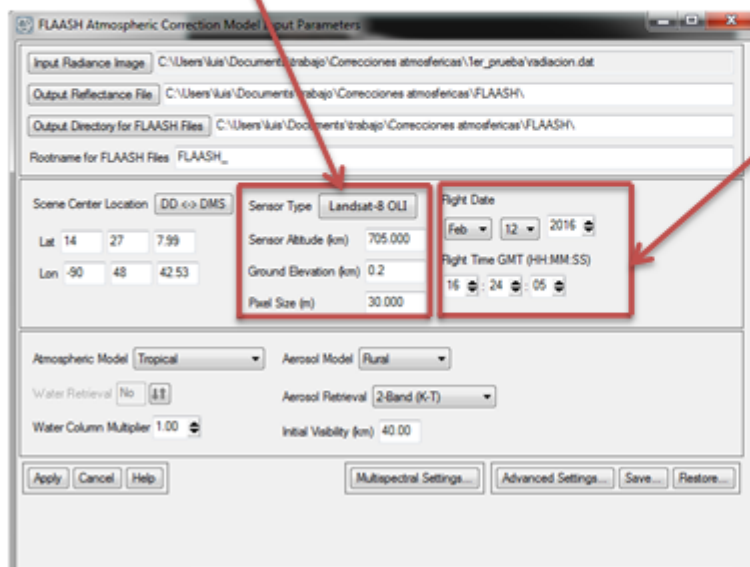
Cuando agrega la imagen de Radiancia en la parte de Input Radiance image, está ya está georeferenciada y se agregan los valores de latitud y longitud automáticamente.



En el apartado de Sensor Type, seleccione Multiespectral y posterior a este seleccione Lansat-8 OLI.



Al seleccionar Lansat-8 OLI, el software es el encargado de colocar la altitud del sensor y el tamaño del pixel. En el apartado de Ground Elevation, coloque la altitud media del área en la cual trabajara.



La información correspondiente a Flight Date y Flight time la encuentra en el archivo MTL que ingreso al Software en el primer paso (cargar la imagen)

Respecto a Atmospheric Model, para obtener mejores resultados, seleccione un modelo estándar de vapor de agua cuya cantidad sea similar o algo mayor de la que se espera para la escena. La cantidad de vapor de agua para cada atmosfera del modelo se muestra a continuación.

Model Atmosphere	Water Vapor (std atm-cm)	Water Vapor (g/cm <sup>2</sup> )	Surface Air Temperature
Sub-Arctic Winter (SAW)	518	0.42	-16° C (3° F)
Mid-Latitude Winter (MLW)	1060	0.85	-1° C (30° F)
U.S. Standard (US)	1762	1.42	15° C (59° F)
Sub-Arctic Summer (SAS)	2589	2.08	14° C (57° F)
Mid-Latitude Summer (MLS)	3636	2.92	21° C (70° F)
Tropical (T)	5119	4.11	27° C (80° F)

De no haber información de vapor de agua disponible, seleccionar una atmósfera de acuerdo con la temperatura del aire superficial conocido, que tiende a correlacionarse con vapor de agua. Si la temperatura se desconoce, seleccione una atmósfera en la tabla siguiente, que se basa en un modelo de temperatura de la superficie de temporada de latitudes.

Latitude (°N)	Jan	March	May	July	Sept	Nov
80	SAW	SAW	SAW	MLW	MLW	SAW
70	SAW	SAW	MLW	MLW	MLW	SAW
60	MLW	MLW	MLW	SAS	SAS	MLW
50	MLW	MLW	SAS	SAS	SAS	SAS
40	SAS	SAS	SAS	MLS	MLS	SAS
30	MLS	MLS	MLS	T	T	MLS
20	T	T	T	T	T	T
10	T	T	T	T	T	T
0	T	T	T	T	T	T
-10	T	T	T	T	T	T
-20	T	T	T	MLS	MLS	T
-30	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS
-40	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS
-50	SAS	SAS	SAS	MLW	MLW	SAS
-60	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-70	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW

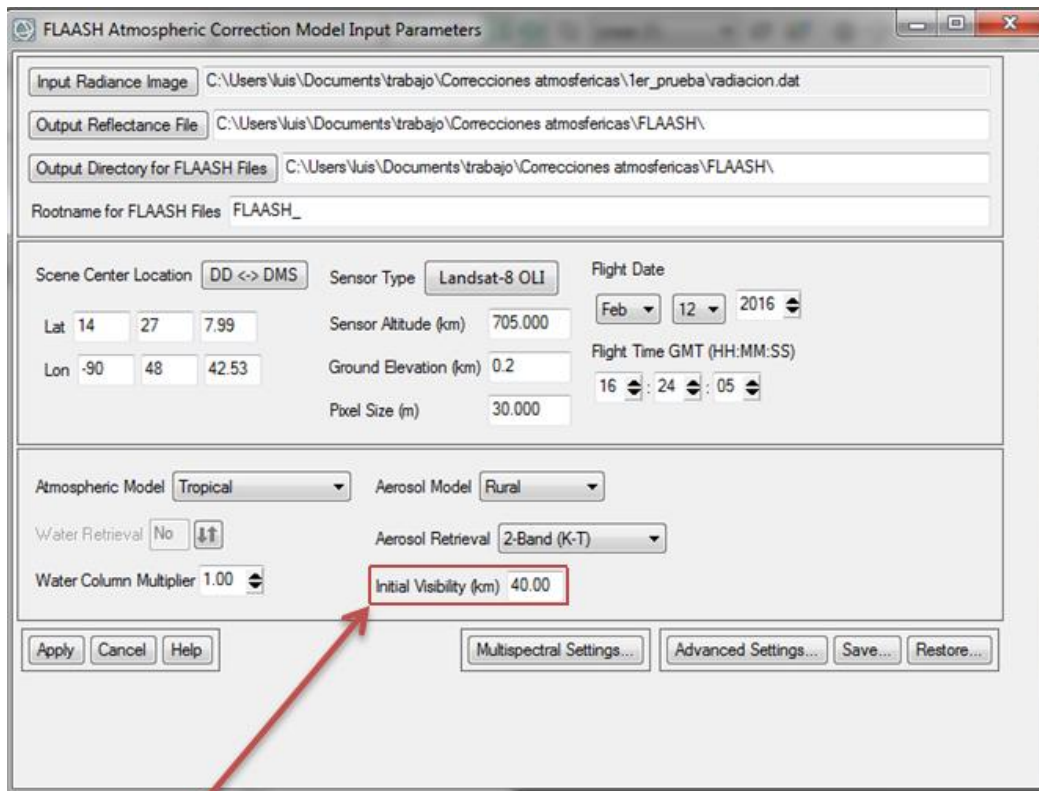
Para Guatemala la imagen utilizada está en la Latitud 20 por lo que seleccionamos tropical en el Atmospheric Model.

Respecto al Aerosol Model Las opciones de modelo son los siguientes:

- Rural: Representa los aerosoles en zonas no afectadas fuertemente por fuentes urbanas o industriales. Los tamaños de partículas son una mezcla de dos distribuciones, una grande y otra pequeña.
- Urbana: Una mezcla de 80% de aerosol rural con un 20% de los aerosoles de hollín similares, adecuados para las zonas urbanas / industriales de alta densidad.
- Marítimo: Representa la capa límite sobre los océanos, los continentes o bajo un viento predominante del océano. Se compone de dos componentes, uno de la espuma del mar y otro de aerosol continental rural (que omite las partículas más grandes).

- Troposférico: Se aplica a calmar, condiciones claras (visibilidad mayor de 40 km) sobre la tierra y consiste en el componente de pequeña partícula del modelo rural.

Con esta información proceda a seleccionar en Aerosol Model de Rural.

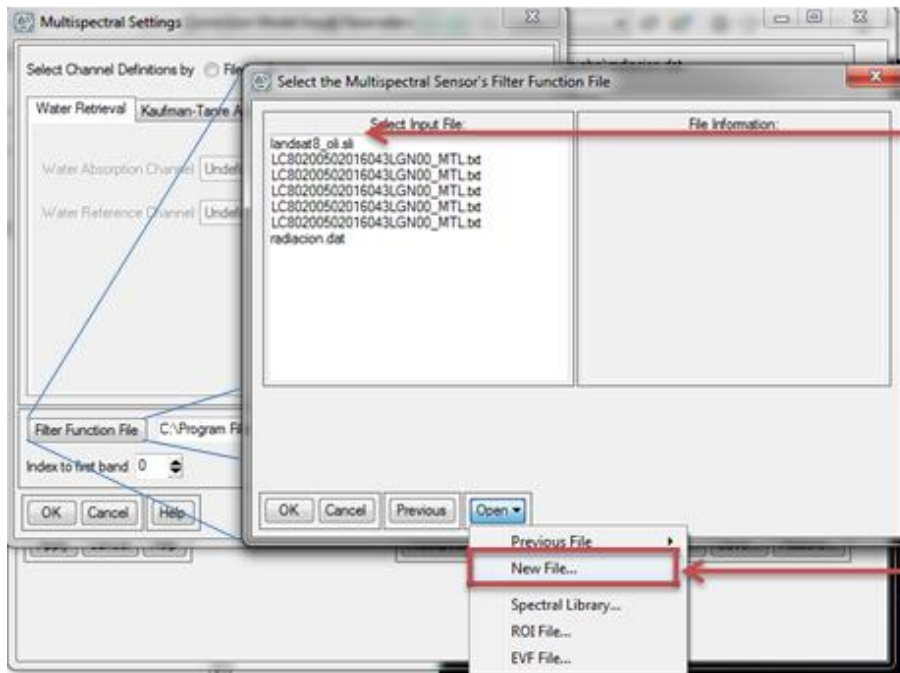
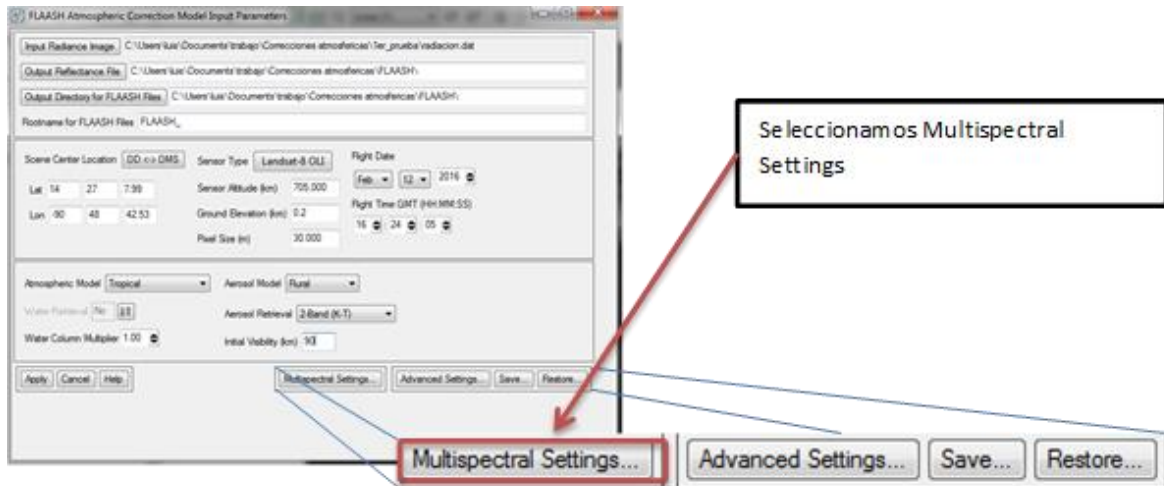


En el campo de visibilidad inicial, se introduce una estimación de la visibilidad de la escena en kilómetros. El valor inicial de la visibilidad se asume para la corrección atmosférica si el aerosol no ha sido recuperado.

La siguiente tabla muestra los valores de visibilidad de la escena aproximadas tomando en cuenta las condiciones climáticas:

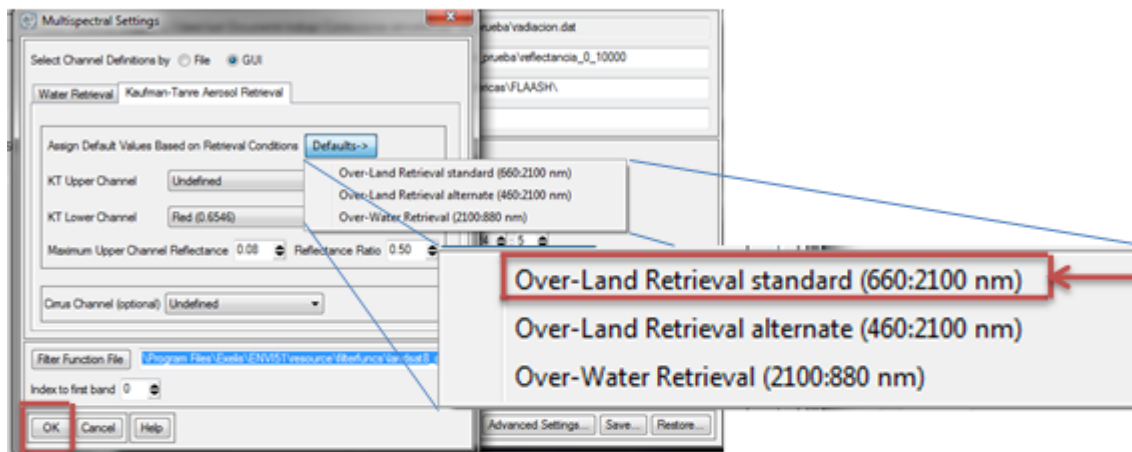
Weather Condition	Scene Visibility
Clear	40 to 100 km
Moderate Haze	20 to 30 km
Thick Haze	15 km or less



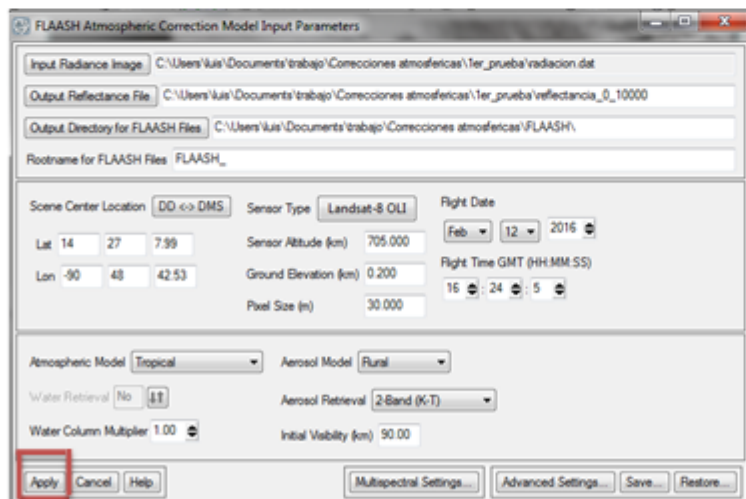


En el apartado de Filter Function File Seleccione Lansat8\_oli.sli de no tenerlo como opción en Select Input File deberá redireccionar el software abriendo un Nuevo archivo ubicado en la siguiente dirección.  
C:\Program Files\Exelis\ENVI51\resource\filterfuncs\landsat8\_oli.sli

Posterior a seleccionar **landsat8\_oli.sli** en Filter Function File, seleccione la ventana de Kaufman-Tanre Aerosol Retrieval, haga clic en Defaults y seleccione Over-Land Retrieval Standard (660-2100 nm)

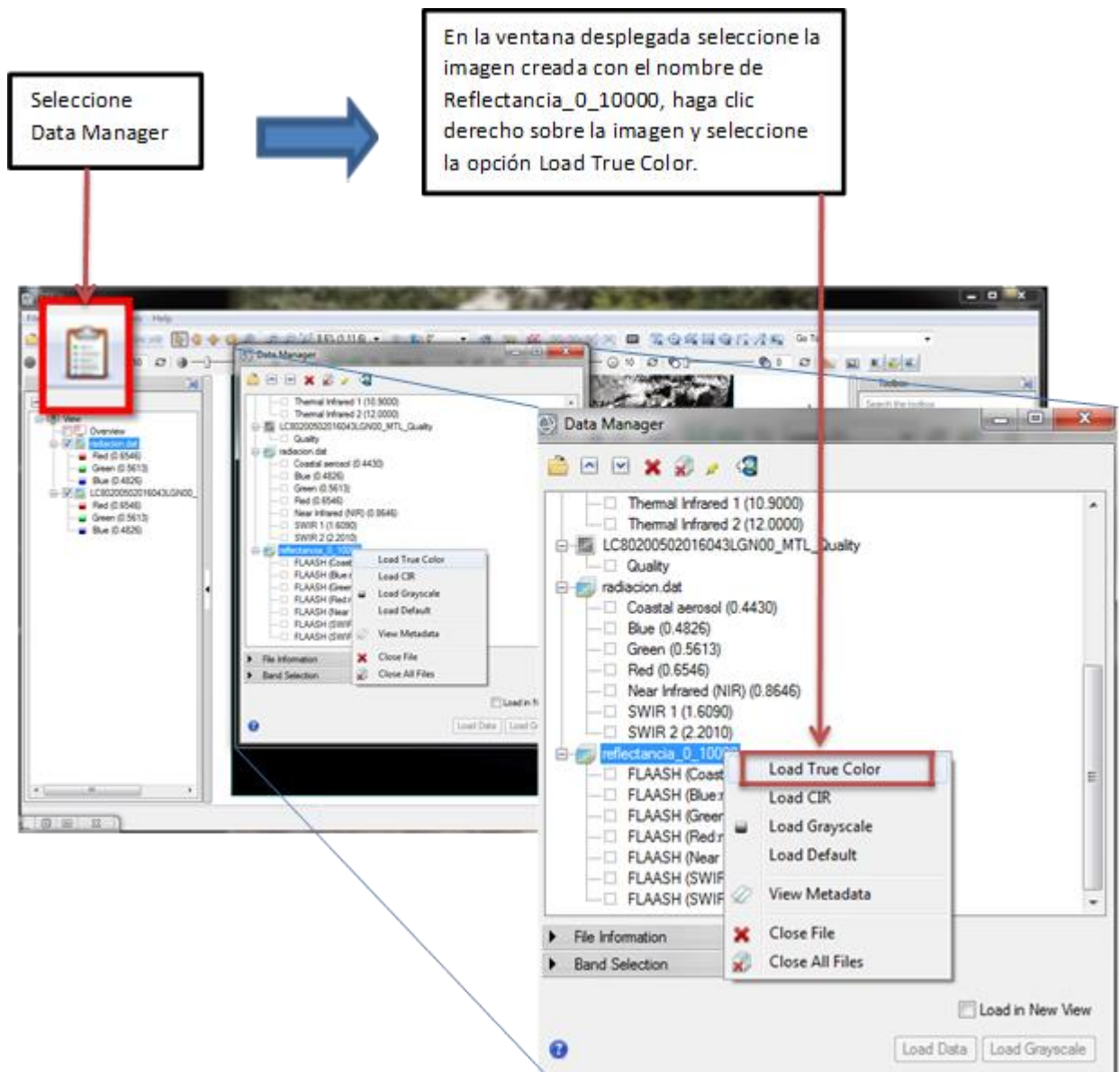
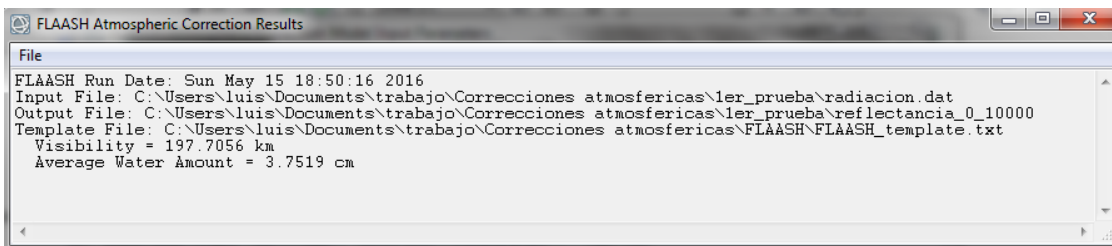


Haga clic en Ok.

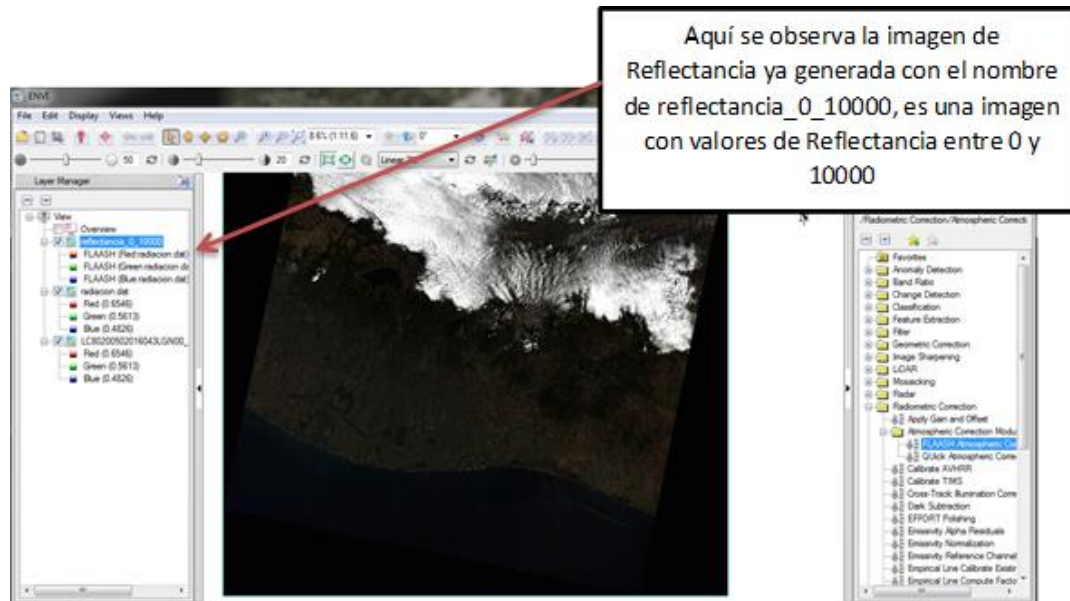


Haga clic en Apply

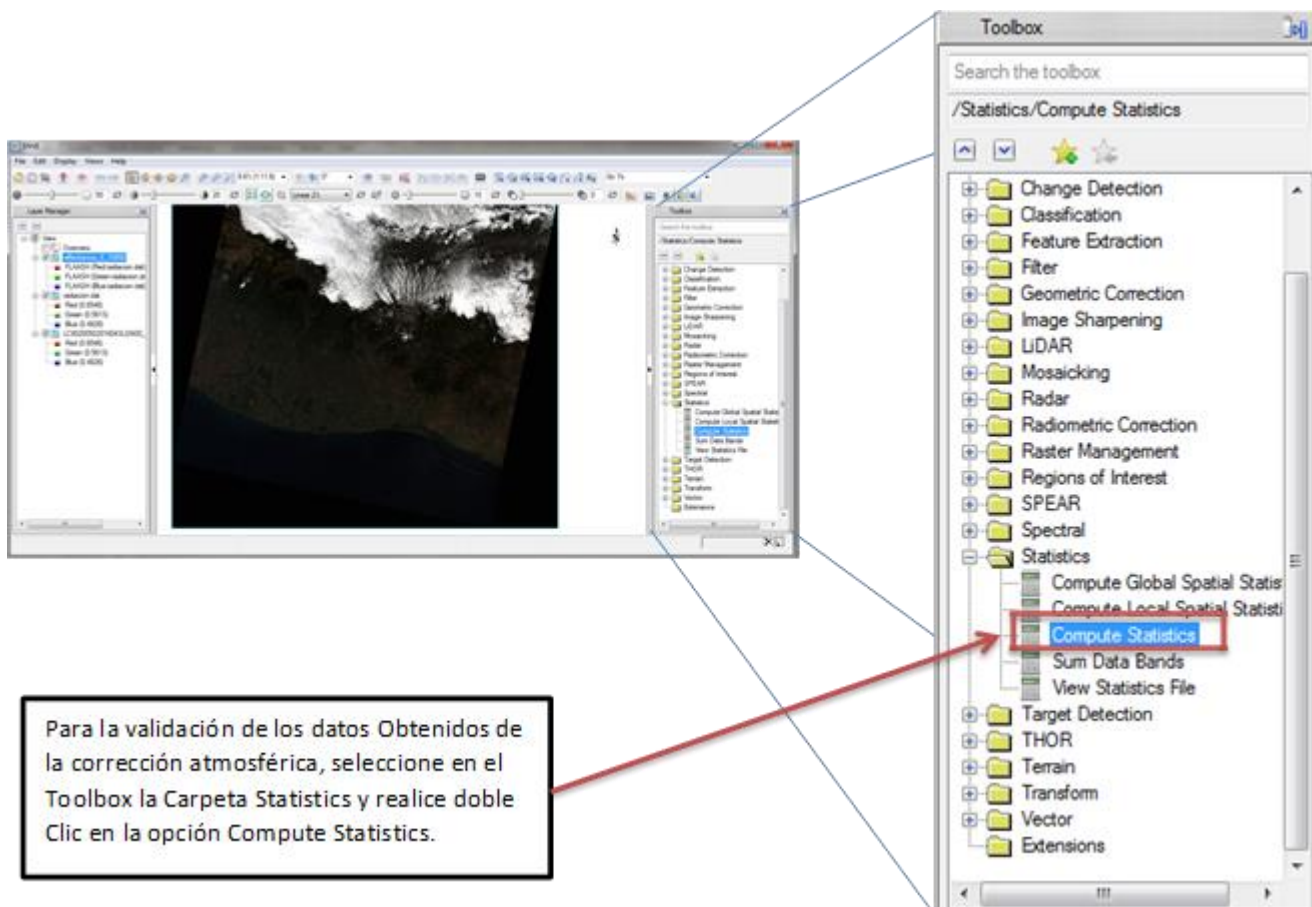
Posterior al proceso del software de realizar la corrección atmosférica con FLAASH se obtiene esta ventana de resultados, lo que indica que la imagen de reflectancia con valores entre 0 y 10000 fue creada.







### Validación de los datos de la corrección Atmosférica.



Compute Statistics Input File

Select Input File:

reflectancia\_0\_10000

LC80200502016043LGN00\_MTL.bt  
LC80200502016043LGN00\_MTL.bt  
LC80200502016043LGN00\_MTL.bt  
LC80200502016043LGN00\_MTL.bt  
LC80200502016043LGN00\_MTL.bt  
radiacion.dat

File Information:

Select By File

OK Cancel Previous

Seleccione la imagen generada de Reflectancia\_0\_10000 y haga clic en Ok.

Toolbox

Search the toolbox

/Statistics/Compute Statistics

- Change Detection
- Classification
- Feature Extraction
- Filter
- Geometric Correction
- Image Sharpening
- LIDAR
- Mosaicking
- Radar
- Radiometric Correction
- Raster Management
- Regions of Interest
- SPEAR
- Spectral
- Statistics
  - Compute Global Spatial Statist
  - Compute Local Spatial Statist
  - Compute Statistics
  - Sum Data Bands
  - View Statistics File
- Target Detection
- THOR
- Terrain
- Transform
- Vector
- Extensions

Compute Statistics Parameters

Basic Stats  Histograms

Covariance

Samples Resize Factor 1.00000

Lines Resize Factor 1.00000

Output to the Screen

Output to a Statistics File

Output to a Text Report File

OK Queue Cancel Report Precision...

Statistics Results

reflectancia\_0\_10000

1.5x10<sup>4</sup>  
1.0x10<sup>4</sup>  
5.0x10<sup>3</sup>  
0

Wavelength

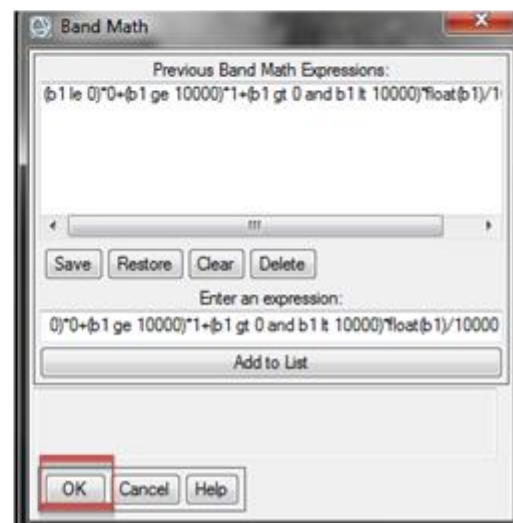
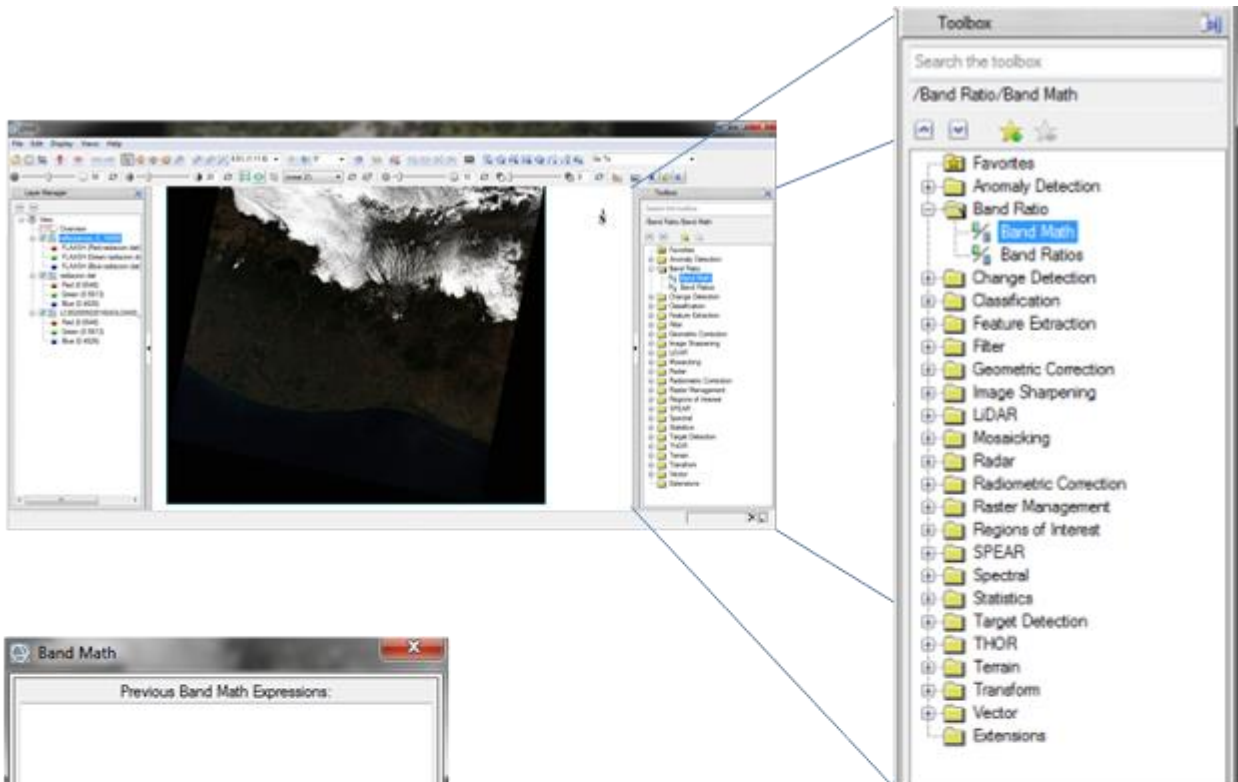
Filename: C:\Users\luis\Documents\trabajo\Correcciones atac  
Dims: Full Scene (58,299,421 points)

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 1	-2450	12027	1434.441927	2356.902589
Band 2	-522	11610	1357.766611	2283.173169
Band 3	-986	12244	1465.121732	2336.599511
Band 4	-597	12735	1499.116942	2407.712906
Band 5	-152	13068	2253.859301	2507.149884
Band 6	-42	14712	1796.106280	2031.172380
Band 7	-13	16376	1310.006332	1634.719486

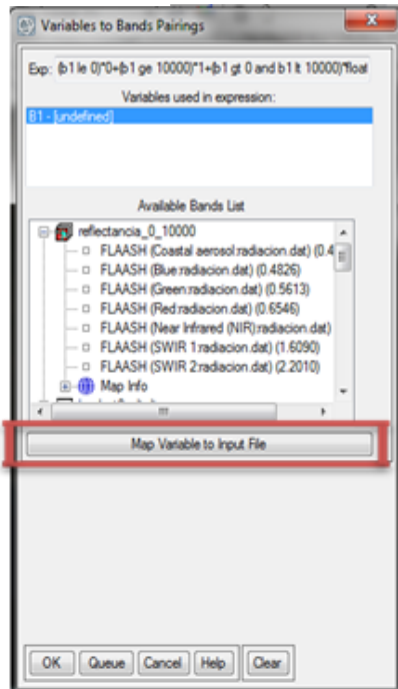
En la ventana de Compute Statistics Parameters haga clic en Ok, Se abrirá la ventana de Statistics Results en la que puede observar los valores medios de Reflectancia con valores entre 0 y 10000

## Imagen con valores de Reflectancia entre 0 y 1

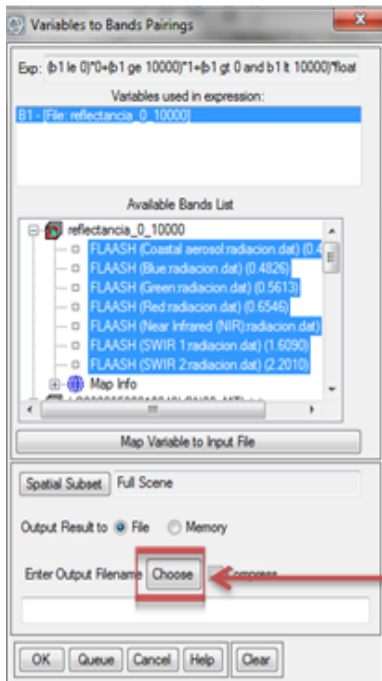
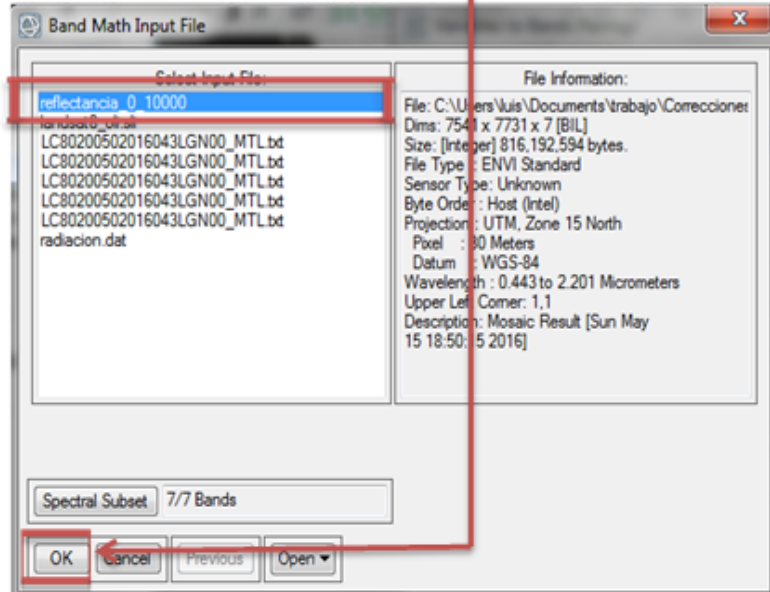
Generada la imagen de Reflectancia con valores entre 0 y 10000, se procede a utilizar la herramienta de Band Math, que se ubica en la carpeta de Band Ratio en la caja de Herramientas (Toolbox).



En el área Enter an expression introduzca la ecuación  $(b_1 \leq 0) * 0 + (b_1 \geq 10000) * 1 + (b_1 > 0 \text{ and } b_1 \leq 10000) * \text{float}(b_1) / 10000$  que le está indicando al software que los valores iguales a 0 sean 0, los valores iguales a 10000 sean 1 y que los valores entre 0 y 10000 sean igual a valores entre 0 y 1. Y haga clic en Add to List. Posterior a este proceso haga clic en OK.

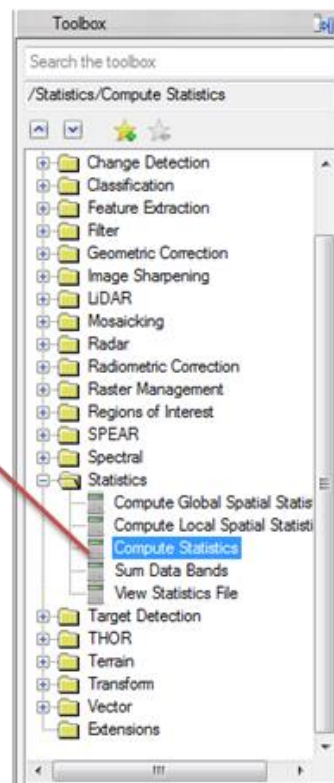
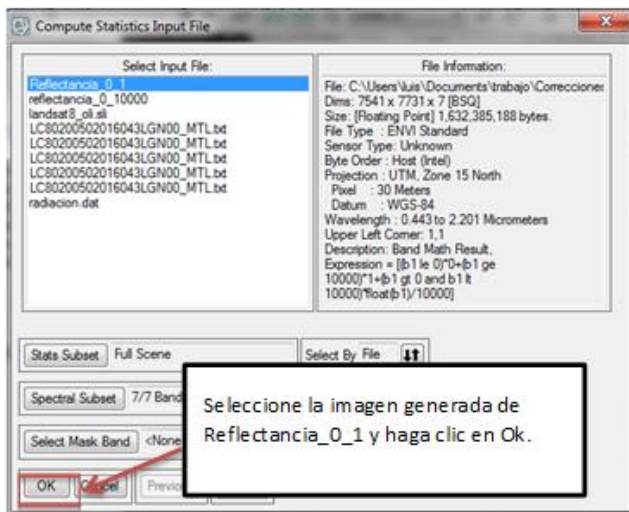
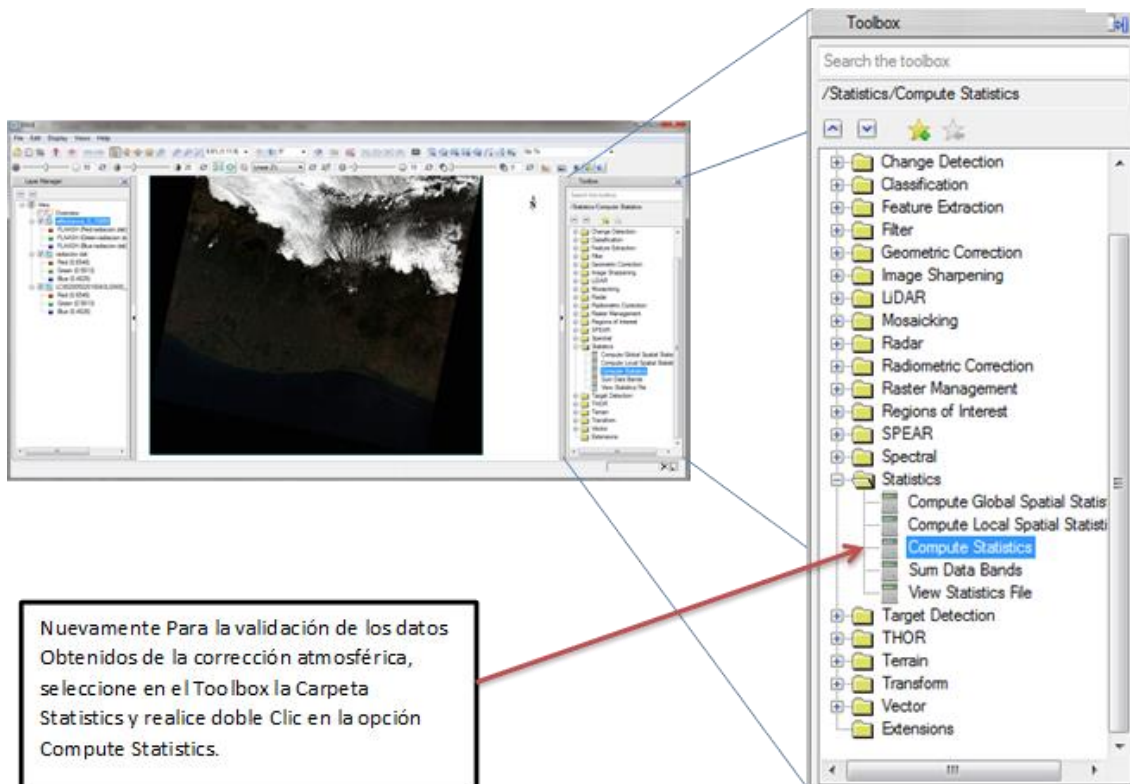


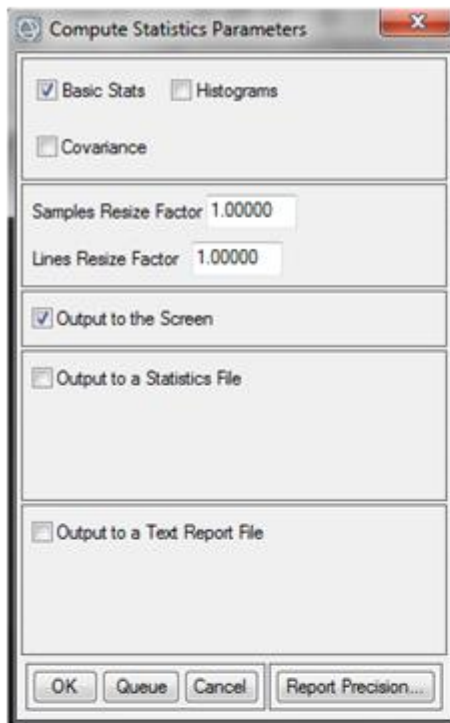
Al dar clic en Ok en la ventana de Band Math se despliega la ventana de Variables to Bands Pairings, haga clic en Map Variables to Input File y seleccione la Imagen creada con el nombre de Reflectancia\_0\_10000y haga clic en OK



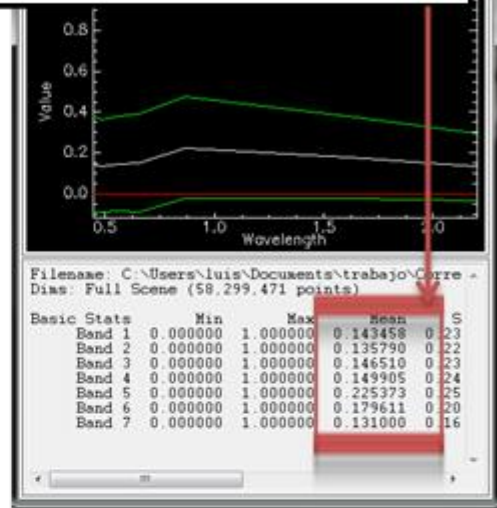
Haga clic en Choose, para seleccionar la ubicación en la cual desea almacenar la imagen creada de reflectancia con valores entre 0 y 1 y haga clic en Ok para finalizar el proceso.







En la ventana de Compute Statistics Parameters haga clic en Ok, Se abrirá la ventana de Statistics Results en la que puede observar los valores medios de Reflectancia con valores entre 0 y 1



Aquí observa el resultado final, ya generada la imagen de reflectancia con valores entre 0 y 1.

### 3.6 Anexos del proyecto II Capítulo III



**Figura 38A. Imagen de la gira de campo para la validación del semáforo de productividad.**



**Figura 39A. Imagen de jefes de zona del área de producción.**

3.7 Anexos del proyecto III Capítulo III

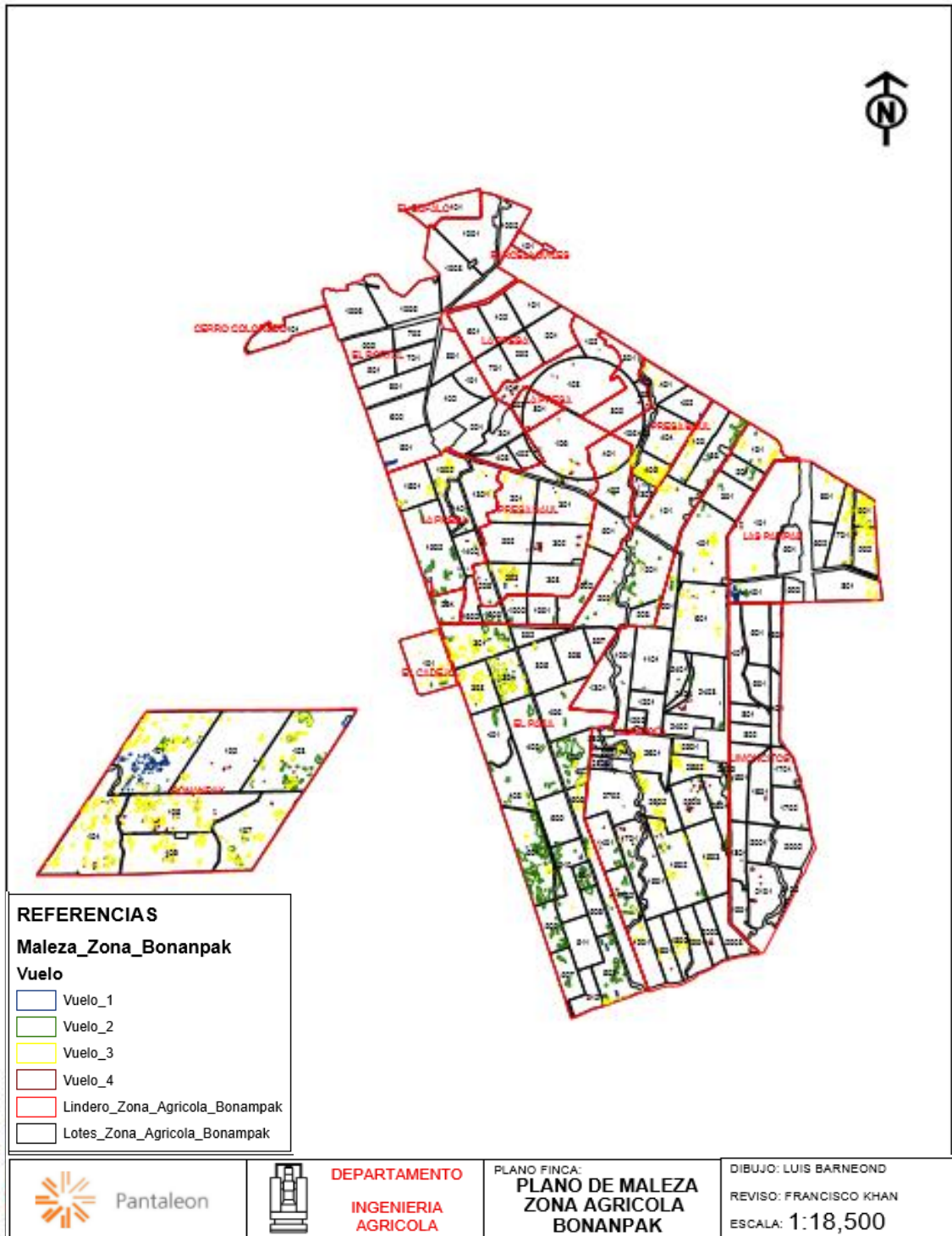


Figura 40A. Mapa de dinámica de población de maleza en Zona Agrícola Bonampak



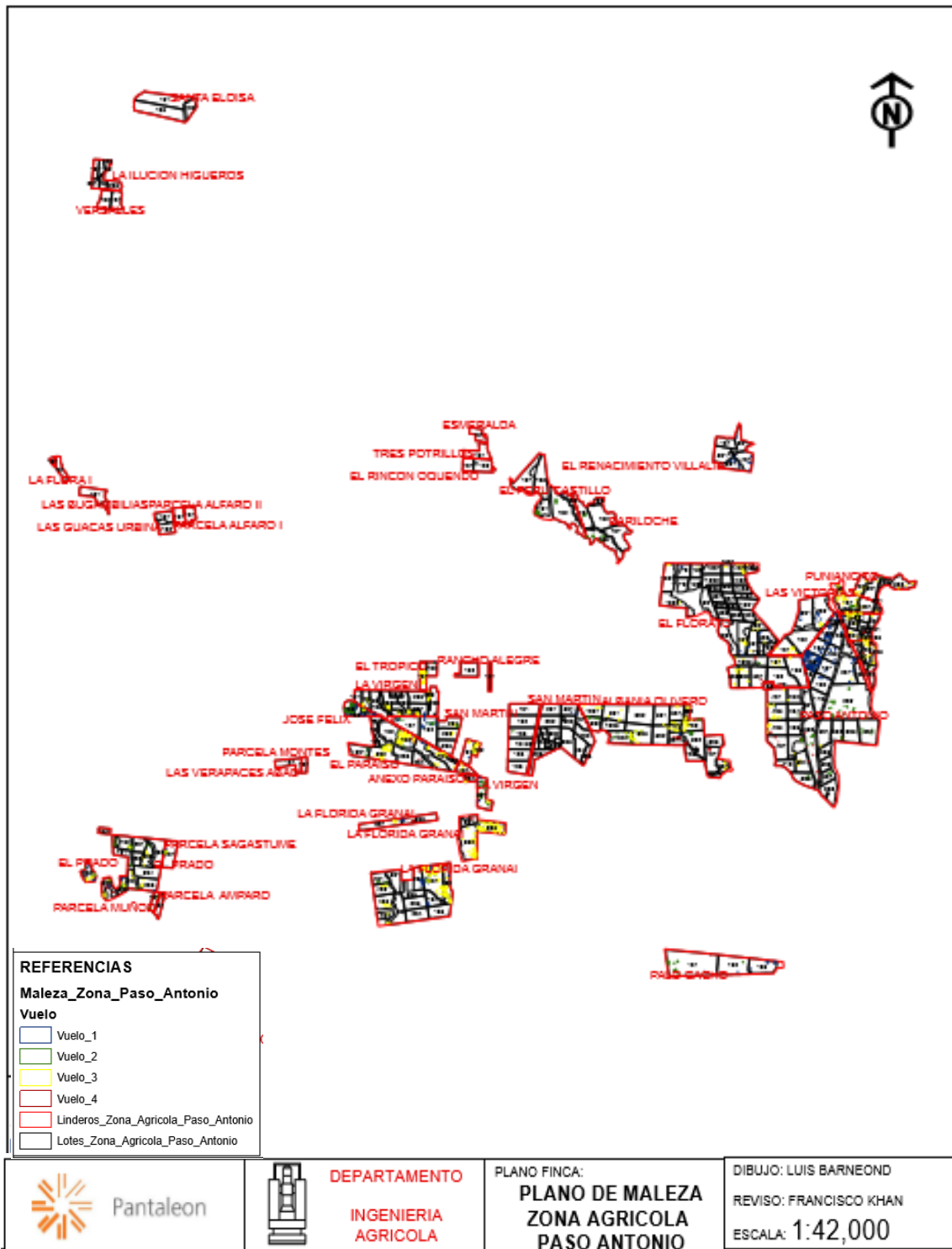
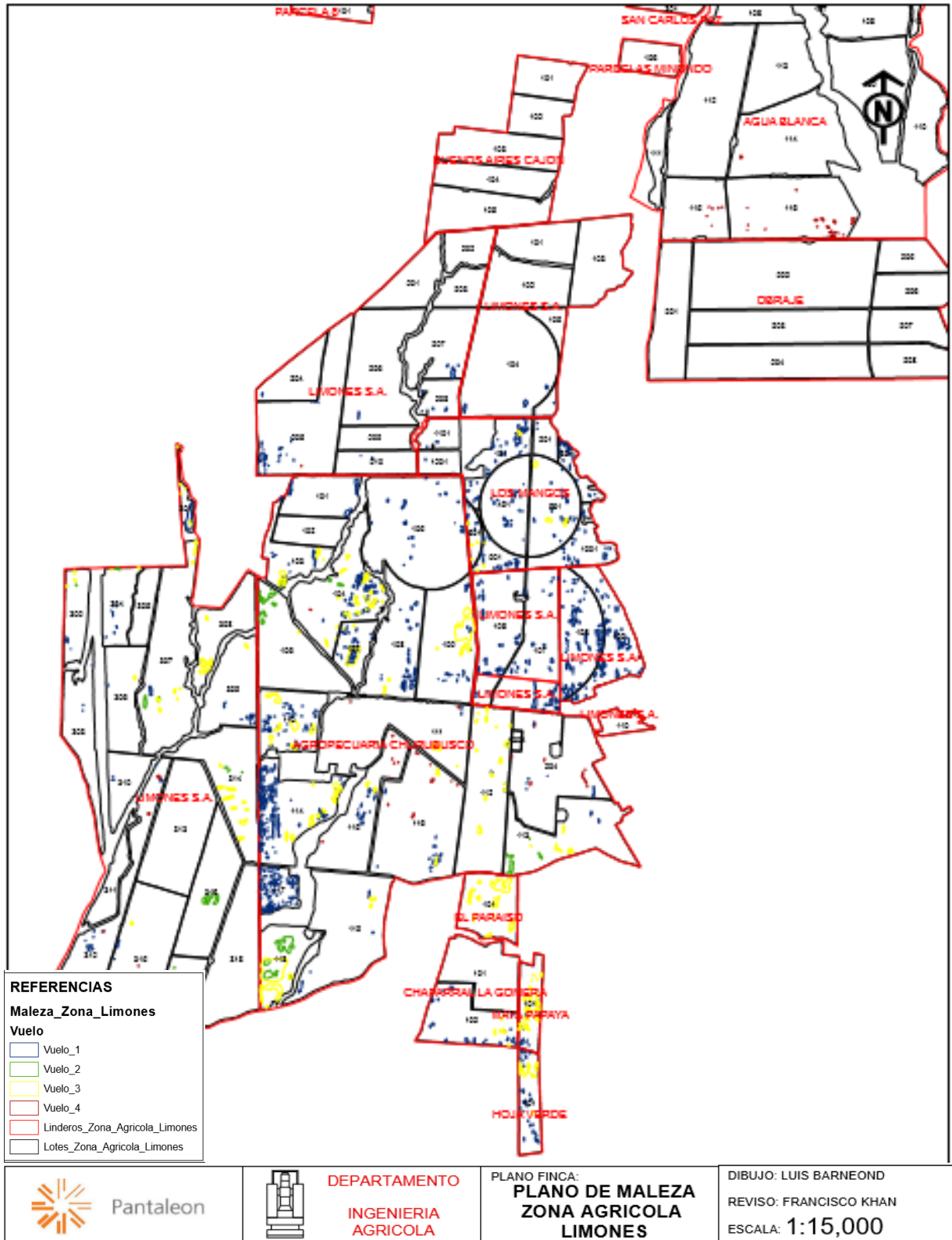


Figura 41A. Mapa de dinámica de población de maleza en Zona Agrícola Paso Antonio.



**Figura 42A. Mapa de dinámica de población de maleza en Zona Agrícola Limones.**

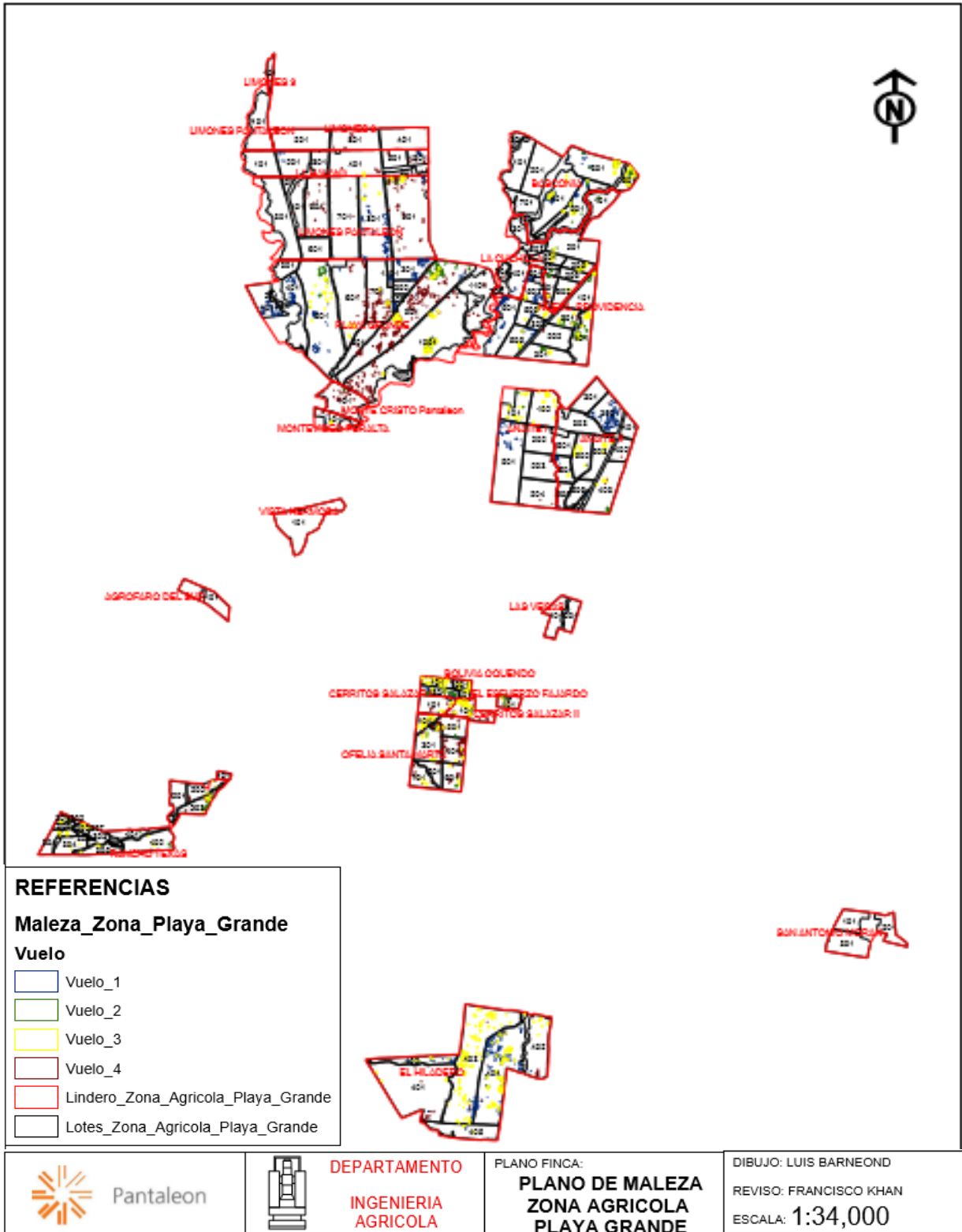


Figura 43A. Mapa de dinámica de población de maleza en Zona Agrícola Playa Grande.

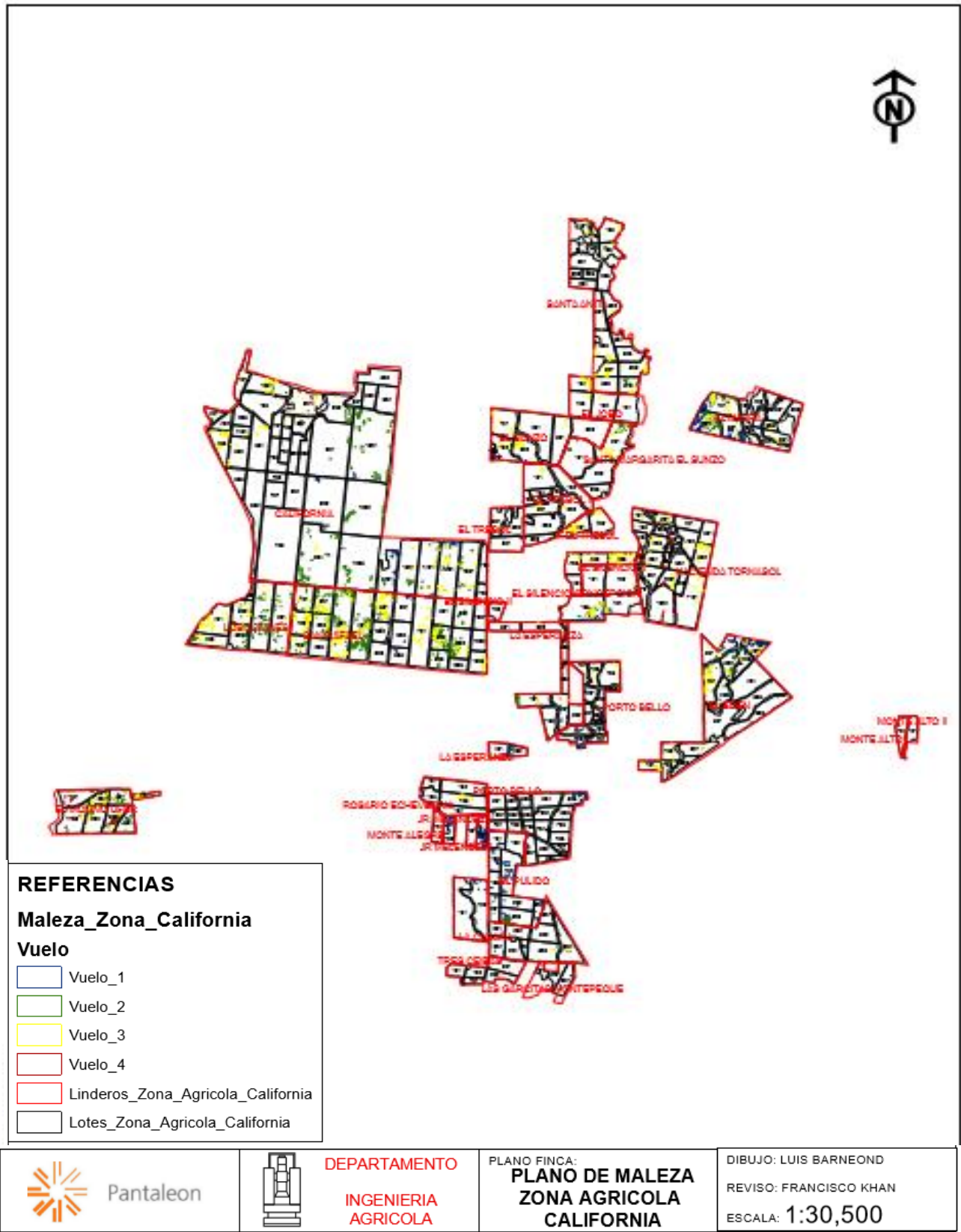


Figura 44A. Mapa de dinámica de población de maleza en Zona Agrícola California.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA -FAUSAC-  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS  
Y AMBIENTALES -IIA-



REF. Sem. 33 /2017

EL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "ESTIMACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) VARIEDAD CP72-2086 MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA, INGENIO PANTALEÓN, S.A., GUATEMALA, C.A."

DESARROLLADO POR EL ESTUDIANTE: LUIS PEDRO BARNEOND FLORES

CARNE: 201112025

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Miguel Angel Morales Cayax  
Ing. Agr. Edwin Guillermo Santos  
Ing. Agr. Fernando Rodríguez Bracamonte

Los Asesores y la Dirección del Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales de la Facultad de Agronomía, hace constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y el Reglamento de este Instituto. En tal sentido pase a la Coordinación del Área Integrada para lo procedente.

Ing. Agr. Edwin Guillermo Santos  
A S E S O R E S P E C I F I C O

Ing. Agr. Fernando Rodríguez Bracamonte  
D O C E N T E - A S E S O R E P S

WNR/nm  
c.c. Archivo





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
COORDINACIÓN AREA INTEGRADA



Ref. Trabajo de Graduación 046-2017  
Guatemala, 21 de septiembre de 2017

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

ESTIMACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) VARIEDAD CP72-2086 MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA Y PROYECTOS PROFESIONALES REALIZADOS EN INGENIO PANTALEÓN, S.A., GUATEMALA, C.A.

ESTUDIANTE:

LUIS PEDRO BARNEOND FLORES

No. CARNÉ

201112025

Dentro del Trabajo de Graduación se presenta el Capítulo II que se refiere a la Investigación Titulada:

“ESTIMACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) VARIEDAD CP72-2086 MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA, INGENIO PANTALEÓN, S.A., GUATEMALA, C.A.”

LA CUAL HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Miguel Angel Morales Cayax  
Ing. Agr. Edwin Guillermo Santos  
Ing. Agr. Fernando Rodríguez Bracamonte

Los Asesores de Investigación, Docente Asesor de EPSA y la Coordinación del Área Integrada, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y Reglamento de la Facultad de Agronomía. En tal sentido, pase a Decanatura.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”  
  
DOCENTE-ASESOR  
EPSA-USAC  
Ing. Agr. Fernando Rodríguez Bracamonte  
Docente - Asesor de EPS

Vo.Bo. Ing. Agr. Silvel A. Elías Gramajo  
Coordinador Área Integrada - EPSA




c.c. Control Académico, Estudiante, Archivo,



No.57.2017

Trabajo de Graduación:	“ESTIMACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR ( <i>Saccharum</i> spp.) VARIEDAD CP72-2086 MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA Y PROYECTOS PROFESIONALES REALIZADOS EN INGENIO PANTALEÓN, S.A., GUATEMALA, C.A.”
Estudiante:	Luis Pedro Barneond Flores
Carné:	201112025

“IMPRÍMASE”

  
Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López  
DECANO

