



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Elaboración de un manual de operaciones para la captura de
“firmas espectrales” en campo, validada en dos granjas
experimentales.**

**Tesis previa a la obtención del título de
Ingeniero Agrónomo**

AUTOR:

Mateo Damián López Espinoza

DIRECTOR:

Ing. Eduardo Victor Tacuri Espinoza M.Sc.

Cuenca, Ecuador

2014



RESUMEN

El estudio de la espectro-radiometría se centra en las interacciones de la luz con la materia, midiendo cantidades de energía al momento de interactuar con coberturas terrestres, dentro del área que nos compete que es la naturaleza y en especial las plantas, pretendemos auxiliarnos de un equipo conocido como espectro-radiómetro, el cual permite efectuar mediciones que interpretadas correctamente ayudan a entender el comportamiento y estado de las plantas. Sin embargo, surge la necesidad de disponer de un manual de operaciones que permita descubrir los pasos necesarios que se deberían realizar para capturar firmas espectrales en campo, además de descubrir las capacidades y el potencial del equipo con el cual se pretende trabajar.

Por lo tanto la presente investigación describe todos los componentes y factores que intervienen para capturar firmas espectrales en campo con el espectro-radiómetro de marca StellarNet, modelos "BLACK-Comet BLK-C-SR 200-1080" y "DWARF-Star Miniature NIR Spectrometer 1000-1700".

Se analizó bibliografía reciente y se contactó a entidades relacionadas al tema, con las cuales se pudo compartir experiencias que dieron las pautas para plantear el manual de operaciones para el espectro-radiómetro.

Como resultado se pudo conocer y describir las partes del equipo, la importancia de su correcta instalación tanto de hardware como de software, así también las necesidades de post-procesar la información recolectada en campo, el almacenamiento y administración de la misma (metadato).

Finalmente se consiguió disponer de un método para definir y muestrear áreas, el cual fue probado en dos granjas experimentales en la provincia de Los Ríos, consiguiendo levantar información espectral en campo.

Palabras Clave: ESPECTRO-RADIOMETRÍA, MANUAL DE OPERACIONES, STELLARNET, FIRMA ESPECTRAL, CAPTURA DE INFORMACIÓN EN CAMPO.



ABSTRACT

The study of the spectro-radiometry focuses on the interactions of light with matter, measuring amounts of energy when interacting with land cover, within the area that concerns us is the nature and especially the plants, we pretend to aid with a equipment known as spectro-radiometer, which allows measurements to help understand correctly the behavior and condition of the plants.

However, emerge need for an operations manual to discover the necessary steps that should be carried out to capture spectral signatures in the field, in addition to discovering the capabilities and potential of the equipment with which you intend to work.

Therefore this research describes all the components and factors involved to capture spectral signatures in field with spectro-radiometer StellarNet model, model "BLK-BLACK-Comet-SR 200-1080" and "DWARF-Star NIR Spectrometer Miniature 1000-1700 ".

Recent literature was analyzed and contacted related entities with which he shared experiences that gave guidelines to bring the operations manual for the spectro-radiometer.

As a result it was possible to understand and describe the parts of equipment, the importance of proper installation of hardware and software, and also the needs of post processing the information collected in the field, storage and administration of it (metadata).

Finally we was able to get to got to have a method to define and sample areas, which was tested on two experimental farms in the province of Los Ríos, getting lift spectral information in the field.

Keyword: SPECTRO-RADIOMETRY, OPERATIONS MANUAL; STELLARNET, SPECTRAL SIGNATURES, CAPTURE INFORMATION IN THE FIELD.

**TABLA DE CONTENIDOS**

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación.....	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general del proyecto	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis.....	3
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Sistemas de información geográfica	4
2.2. Teledetección ambiental	5
2.3. La teledetección ambiental y los sistemas de información geográfica	7
2.4. Reseña histórica	8
2.5. Usos y aplicaciones	9
2.6. Principios físicos de la teledetección ambiental.....	12
2.6.1. Radiación electromagnética.....	13
2.6.2. Espectro electromagnético.....	15
2.6.3. Radiometría.....	17
2.6.4. Términos y magnitudes radiométricas utilizadas en teledetección.....	18
2.6.5. Radiometría o espectro-radiometría de campo	21
2.6.6. Firma espectral.....	22
2.6.7. Interacción de energía con las características de la superficie terrestre	23
2.6.8. Descripción del espectro óptico	25
2.6.9. Propiedades espectrales de los objetos	26
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODO.....	33
3.1. Materiales.....	33
3.1.1. Equipos	33
3.1.2. Software	33
3.2. Método	33
3.2.1. Procedimientos.....	34
3.2.1. Localización geográfica.....	35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Resultados	40
4.1.1. Manual de operaciones.....	41
4.1.2. Proceso de validación en campo	56
4.1.3. Socialización y divulgación del proyecto a grupos de interés.....	81
4.2. Discusiones.....	82
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
5.1. Conclusiones.....	84
5.2. Recomendaciones	85
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
6.1. Bibliografía	87
CAPÍTULO VII. ANEXOS	90
7.1. Cuadro cálculo de segundos para respuesta con diferentes tiempos de integración y número de promedios.....	90



7.2. Metadato de las firmas capturadas 91
7.2.1. Metadato 1: Granja Mocache..... 91
7.2.2. Metadato 2: Granja Pueblo Viejo. 92
7.3. Oficios De respaldo institucional para cooperación técnica con el Instituto Espacial Ecuatoriano..... 93
7.3.1. Carta de invitación..... 93
7.3.2. Aceptación para realizar pasantía en temas espectrales. 94
7.4. Registro de Asistencia a los eventos realizados..... 97
7.4.1. Socialización al octavo ciclo de la carrera de Ingeniería agronómica. 97
7.4.2. Socialización y trabajo realizado en la vista al IEE (Quito) los días del 23-30 de julio de 2014. 98
7.4.3. Socialización primera visita al IEE (Quito), el día 17 de junio del 2014..... 99
7.5. Fotografía de Espectro Radiometro Portatil de marca StellarNET modelo “BLACK-Comet BLK-C-SR 200-1080” y “DWARF-Star Miniature NIR Spectrometer 1000-1700”. ... 100
7.6. Manual de operaciones para el espectro-radiómetro portable StellarNet 101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema gráfico de la representación de los componentes de un SIG.4
Figura 2: Esquema de un sistema de Teledetección6
Figura 3: Imagen en infrarrojo obtenida mediante teledetección ambiental, desplegada en un entorno SIG.....8
Figura 4: Cronología de la teledetección ambiental adaptada según Sobrino, (2000).9
Figura 5: Comparación entre aplicaciones convencionales y nuevas de la teledetección (adaptado de Baker. 2001) 11
Figura 6: Flujo de longitudes de onda compuesta por dos vectores, uno magnético y otro eléctrico, perpendicular entre sí..... 14
Figura 7:Representación gráfica del espectro electromagnético, énfasis en el espectro visible. 16
Figura 8: Representación gráfica de un ángulo sólido. 21
Figura 9: Ejemplos de Firmas espectrales de Diferentes objetos 23
Figura 10: Comportamiento reflectivo 24
Figura 11: Representación gráfica del flujo incidente con respecto a la superficie terrestre 25
Figura 12: Firmas espectrales típicas de Vegetación..... 29
Figura 13: Firmas espectrales típicas del Agua..... 30
Figura 14: Firmas espectrales típicas de Suelo..... 32
Figura 15: Ubicación del proyecto PACALORI a nivel nacional, provincial y cantonal. 36
Figura 16:Ubicación de la granja Mocache..... 38
Figura 17: Ubicación de la granja Pueblo Viejo 39
Figura 18: Sensor BLACK COMET y sus componentes 43
Figura 19:Sensor Dwarf DWARF-Star Miniature 43
Figura 20: Fibra Optica 44
Figura 21: Cables USB tipos..... 44
Figura 22:Ventana emergente 49
Figura 23: Error producido cuando los puertos USB no coinciden con rutas anterior mente creadas..... 49
Figura 24:Reseteo de rutas de acceso para puertos USB 50
Figura 25: Captura de pantalla del software SpectraWiz Spectrometer v5.3..... 52
Figura 26: Barra de menús 52
Figura 27: Opciones de tiempo de Integración y numero de escaneos para promedio. 53
Figura 28: Captura del blanco de referencia..... 55



Figura 29: Captura de información espectral indicando su almacenamiento en el computador. 56
Figura 30: Delimitación de área a muestrearse en la granja de Mocache. 58
Figura 31: Delimitación de área a muestrearse en la granja de Pueblo Viejo. 59
Figura 32: Formula para el calculo de muestras finitas. 60
Figura 33: Cálculo de la muestra apoyados en una hoja de cálculo. 62
Figura 34: Proceso secuencial para la distribución espacial de los sitios a muestrear 63
Figura 35: Proceso de captura de información en campo. 65
Figura 36: Copiado de valores para ser importados en la hoja de cálculo. 67
Figura 37: Pestañas correspondiente a las hojas de cálculo creadas. 68
Figura 38: Hoja de calculo en la pestaña “Post-pro” 68
Figura 39 : Metadato 71
Figura 40: Firma espectral promedio como resultado en la parcela de Mocache 74
Figura 41: Firma Espectral promedio como resultado en la parcela de Pueblo Viejo. 75
Figura 42: Firma espectral Capturada en la parcela de Mocache, con espectro-radiómetro ASD
..... 76
Figura 43: Firma espectral Capturada en la parcela de la parcela Pueblo Viejo, con espectro-
radiómetro ASD 77
Figura 44: Ilustración de los valores tabulados. 78
Figura 45: Submuestras para la firma espectral (Mocache). 79
Figura 46: Submuestras para la firma espectral (Pueblo Viejo). 79
Figura 47: Comparación de la desviación estandar y error estandar con relación al promedio
(Mocache). 80
Figura 48: Comparación de la desviación estandar y error estandar con relación al promedio
(Pueblo Viejo) 81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Magnitudes radiométricas comunes en teledetección. 18
Tabla 2: Resumen de Ubicación de las granjas Pueblo Viejo y Mocache 39
Tabla 3: Principales opciones del software SpectraWiz. 51
Tabla 4: Recomendaciones de StellarNet para ajustar el tiempo de integración con relación al
numero de promedios. 53
Tabla 5: Cuadro resumen producto del levantamiento de áreas a ser muestreadas. 59
Tabla 6: Cálculo de la población. 61



Yo, **Mateo Damián López Espinoza**, autor de la tesis: **Elaboración de un manual de operaciones para la captura de “firmas espectrales” en campo, validada en dos granjas experimentales**, declaro que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación, son de mi exclusiva responsabilidad.

Cuenca, Noviembre 2014

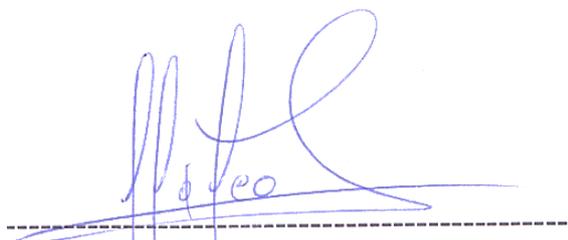


Mateo Damián López Espinoza
C.I.: 010538952-2



Yo, **Mateo Damián López Espinoza**, autor de la tesis: **Elaboración de un manual de operaciones para la captura de “firmas espectrales” en campo, validada en dos granjas experimentales**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al artículo 5, literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de **INGENIERO AGRÓNOMO**. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afectación alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Noviembre 2014



Mateo Damián López Espinoza
C.I.: 010538952-2



DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi abuelo Enrique Espinoza Espinoza, que no me enseñó que ser en la vida, sino que me enseñó el tipo de persona que quiero ser.

A mi familia que me ha acompañado en el día a día sorteando buenos y malos momentos pero que son ese pilar fuerte en el cotidiano vivir, brindando el cariño el acompañamiento y sobre todo los recursos para poder alcanzar mis metas.

A mis amigos de aula, de trabajo, y de la vida, que forman parte este sueño cumplido.

Mateo



AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad de Cuenca, que me acogió durante todos estos años, brindándome conocimientos y preparándome para la vida profesional, con recursos físicos, y personal como son los docentes, con quienes me encuentro muy agradecido.

Agradezco al Ing. Eduardo Tacuri, quien desde sus clases despertó mi interés por estos temas, como director de tesis dio las facilidades para concluir este proyecto, finalmente le agradezco que como jefe y amigo continua enseñando, guiando y motivándome a seguir adelante.

Agradezco de manera especial al **Instituto Espacial Ecuatoriano** con su proyecto “Incidencia del cambio climático y nutrición en cultivos de arroz, maíz duro y papa, con modelos de predicción de cosechas mediante métodos espaciales y espectrales”, en la cabeza del **Ing. Xavier Manguashca**, quien con todo su personal a cargo, supo brindar las facilidades con conocimientos para la culminación de este tema.

Al PROMAS-Universidad de Cuenca, que con su configuración multidisciplinaria se convierte en una escuela, sorteando actividades propias de la vida profesional, y que tiene abiertas sus puertas para impulsar proyectos como éste.

A mis amigos y compañeros de labores: Xavier G, Luis M, José S, Bastiaan S, que me han acompañado en todo momento e incondicionalmente han entregado sus conocimientos y voluntad cuando así lo he necesitado.

*“Cuando bebas agua, recuerda siempre a la fuente.”
Proverbio chino*



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El estudio de la espectro-radiometría, se centra en la interacción de la luz con la materia, además de las interacciones de los efectos que produce la intensidad de la luz en función de la cantidad de energía o de mejor manera de las longitudes de onda que interactúan.

Actualmente el estudio del espectro-electromagnético y la incidencia de la luz con la materia, con fenómenos como la absorción, la emisión y la reflexión de energía buscan dar soluciones dentro de la física, la química, la biología y la geología, ayudando a entender y aprender acerca la composición química de los materiales, que están conformando nuestro entorno.

Dentro del área que nos compete que es la naturaleza y en especial las plantas, pretendemos auxiliarnos de un equipo conocido como espectro-radiómetro, el cual nos permite efectuar mediciones que interpretadas correctamente permiten entender el comportamiento y estado de las plantas, sin embargo, surge la necesidad de disponer de un protocolo que permita descubrir los pasos necesarios que se deberían efectuar para capturar firmas espectrales, además de descubrir las capacidades y el potencial del equipo con el cual se pretende trabajar.



1.1. Justificación

Las plantas son dependientes de su entorno físico para crecer sobrevivir y reproducirse; en el orden de entender estas respuestas, nosotros necesitamos entender las herramientas tanto para cuantificar el medio y estudiar la forma en las que las plantas viven. En efecto, están incrementándose en estos últimos años los estudios para mejorar el futuro de los campos de cultivos, además de permitir mejorar el monitoreo del ambiente y los ecosistemas naturales (Jones & Vaughan, 2010).

Dentro de este contexto la Universidad de Cuenca al ser el medio, por el cual la ciencia y el conocimiento es difundido, tiene que incursionar en nuevas tecnologías, con el fin de estudiarlas, entenderlas, simplificarlas, y enseñarlas, para el posterior uso, tanto de estudiantes y profesionales, es así que, el Programa para el Manejo del Agua y del Suelo (PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA), con los diferentes proyectos además de brindar un servicio de consultoría especializada, consigue incursionar en la investigación y generar conocimiento, esta vez en el marco del Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la provincia de los Ríos (PACALORI), en el cual se realizara investigación, la misma que pretende innovar con la generación de nuevas tecnologías en el área de espectro-radiometría de campo.



1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general del proyecto

Disponer de un manual de operaciones para la captura de “firmas espectrales” en campo, validada en la provincia de Los Ríos.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Disponer de un manual de operaciones para la captura de firmas espectrales, con el espectro radiómetro de campo de marca StellarNet.
- ✓ Realizar pruebas de campo para validar el método propuesto y su correspondiente post-proceso.
- ✓ Dar a conocer el proyecto de investigación hacia grupos de interés, para difundir resultados.

1.3. Hipótesis

El proceso sistemático y metódico que corresponde a la revisión bibliográfica, y la validación en campo conducen a la obtención de un manual de operaciones que permita la captura de firmas espectrales mediante espectro radiómetro “BLACK-Comet y DWARF-Star”.

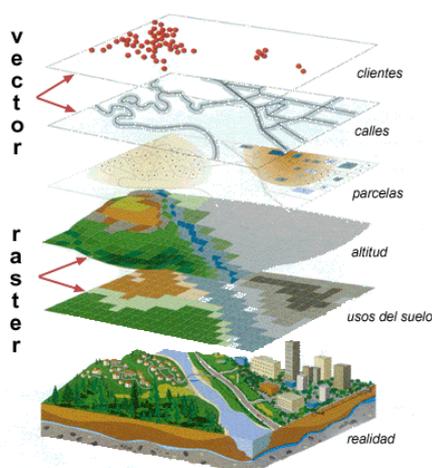
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistemas de información geográfica

Un SIG es una tecnología computacional y metodológica basada en coleccionar, guardar, manipular, recuperar y analizar datos con referencia espacial o georeferenciados, puede entenderse también como un sistema de hardware, software y datos, acompañados de personas, organizaciones, he instituciones dispuestas a recolectar, almacenar, analizar, y visualizar información acerca de áreas de la Tierra.

Los SIG requieren de gran cantidad de datos, los mismos que luego son convertidos en información para el usuario final. (Elan, 2006)

Figura 1: Esquema gráfico de la representación de los componentes de un SIG.



Fuente:(ESRI)

El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas (layers) y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida, sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma (Mas, 2011).

Como se observa en la *Figura 1*, un SIG trata de representar la realidad mediante diferentes capas tanto vectoriales, como raster, permitiendo de esta manera una administración eficiente y aislada de los diferentes componentes. Eficiente ya que la ordenamos según nuestra necesidad y aislada porque nos



permite hacer diferentes interacciones de las capas dependiendo del análisis, como por ejemplo el uso de una fotografía aérea, conjuntamente con un catastro, nos permitirá saber el estado y el uso de dichos predios (Mas, 2011).

2.2. Teledetección ambiental

La teledetección es la ciencia que engloba al conjunto de los conocimientos y técnicas utilizados para la obtención de información de objetos o fenómenos a distancia, sin entrar en contacto directo con ellos. No sólo trata los procesos de adquisición de información, sino también su posterior análisis desde una perspectiva de aplicación en particular. (*Manual de Teledetección, 2004*)

Al igual que Segado (1996), cita: La teledetección, remote sensing, es la capacidad de obtener información de un objeto sin mantener contacto físico con él. El término teledetección se restringe a aquellos métodos que emplean la energía electromagnética reflejada o irradiada por los objetos, lo que excluye las investigaciones eléctricas, magnéticas y gravimétricas, lo que miden son campos de fuerza (Sabins, 1978).

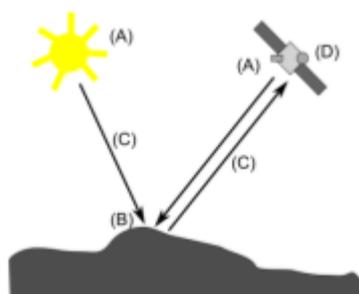
El láser, el radar, los escáner multi-espectrales y las cámaras fotográficas, son los instrumentos más utilizados en Teledetección, los aviones y satélites, las plataformas de observación sobre las que se instalan estos sensores permiten la obtención de los datos (Segado, 1996).

Las imágenes obtenidas a partir de plataformas espaciales constituyen una fuente muy importante de información sobre los recursos naturales y del ambiente. En efecto, las imágenes satelitales:

- ✓ proveen una visión sinóptica de grandes áreas de la superficie terrestre, lo que permite una mejor comprensión de la organización espacial:
- ✓ permiten acceder a información que nuestra visión no capta, tal como las bandas del infrarrojo y
- ✓ son menos costosas por unidad de superficie que las fotografías aéreas o la información tomada en el terreno. (*Manual de Teledetección, 2004*).

Para comprenderlos, estudiemos algo más en detalle los elementos del proceso de teledetección, los cuales se representan de forma esquemática de la siguiente manera:

Figura 2: Esquema de un sistema de Teledetección



Fuente: (Olaya, 2011)

Una fuente de radiación (A). Puede ser de origen natural o artificial. La radiación emitida por dicha fuente llega al terreno y sufre una perturbación causada por los elementos de este, siendo esta perturbación el objeto de estudio de la teledetección.

Los propios objetos pueden ser también emisores ellos mismos de radiación.

Unos objetos (B) que interactúan con la radiación o la emiten, corresponde al objeto mismo de estudio.

Una atmósfera (C) por la que se desplaza la radiación, tanto desde la fuente hasta el objeto como desde el objeto hasta el receptor. La atmósfera también interactúa con la radiación, introduciendo igualmente perturbaciones en ella.

Un receptor (D) que recoge la radiación una vez que esta ha sido perturbada o emitida por los objetos. El receptor va a generar como producto final una imagen, para el caso de captura de imágenes (en términos de un SIG, una capa raster), en cuyas celdas o píxeles se va a contener un valor que indica la intensidad de la radiación. Estos valores son valores enteros que indican el nivel de dicha radiación dentro de una escala definida (habitualmente valores entre 1 y 256), y se conocen dentro del ámbito de la teledetección como niveles digitales (Olaya, 2011).

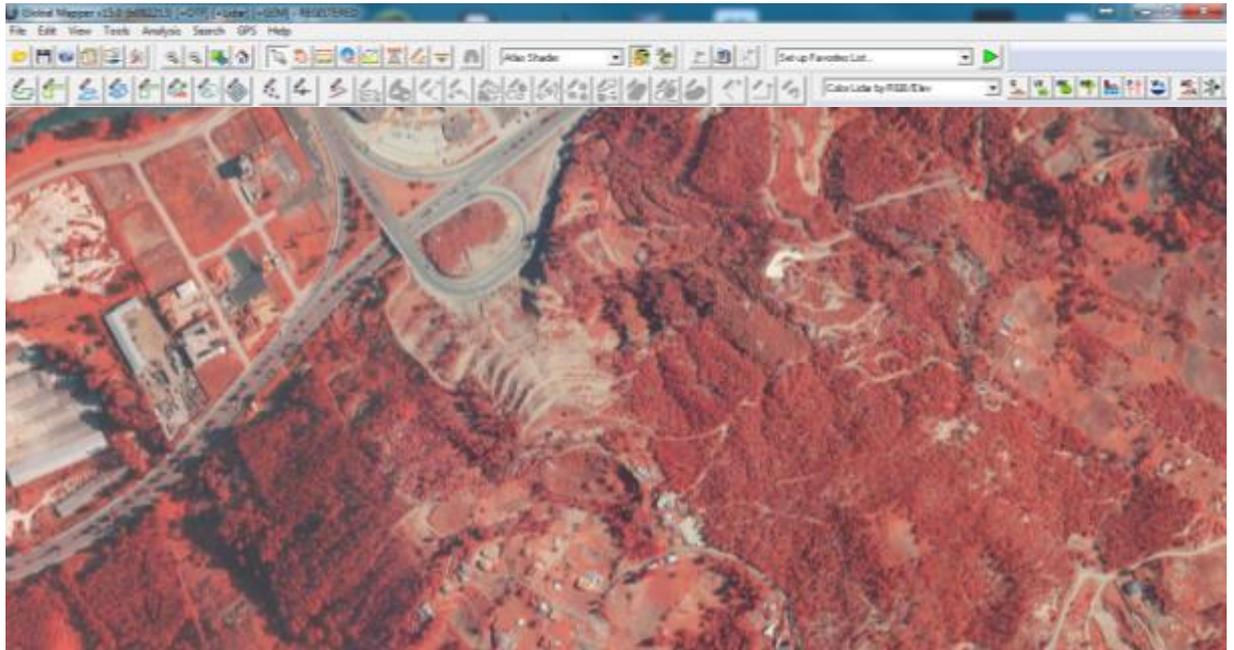


2.3. La teledetección ambiental y los sistemas de información geográfica

Tradicionalmente la teledetección se ha estudiado como una materia complementaria pero en cierto modo separada de los Sistemas de Información Geográfica. Debido principalmente a que se trata de una materia muy extensa cuyo desarrollo se ha producido de forma ajena al de los SIG. No obstante, a medida que ambos campos se han ido desarrollando, la convergencia entre SIG y teledetección se ha hecho cada vez más evidente. No solo las aplicaciones SIG incorporan elementos para el manejo, tratamiento y análisis de datos procedentes de la teledetección, sino que las formulaciones de ambos ámbitos contienen elementos similares, concretamente como ejemplo a la mitad del siglo XIX, es cuando se tomaron las primeras fotografías aéreas uniendo el recién desarrollado campo de la fotografía junto con la utilización de globos aerostáticos como medio para situar el aparato fotográfico a una altura suficiente que permitiera obtener las imágenes. Las fotografías aéreas fueron el primer producto de la teledetección, pero al momento existen otros que, basados en esa misma idea de registro de información, pueden ser empleados como fuentes de datos espaciales dentro de un SIG.

La teledetección actualmente es un elemento clave para la formación en SIG, y como tal debe mencionarse. Los bloques tradicionales en los que se divide el temario fundamental de la teledetección no incorporan únicamente el registro de la información y la creación de los datos, sino además su proceso posterior, interpretación y tratamiento (Olaya, 2011).

Figura 3: Imagen en infrarrojo obtenida mediante teledetección ambiental, desplegada en un entorno SIG.



**Fuente: Sigierras,2010.
Elaboración: El autor.**

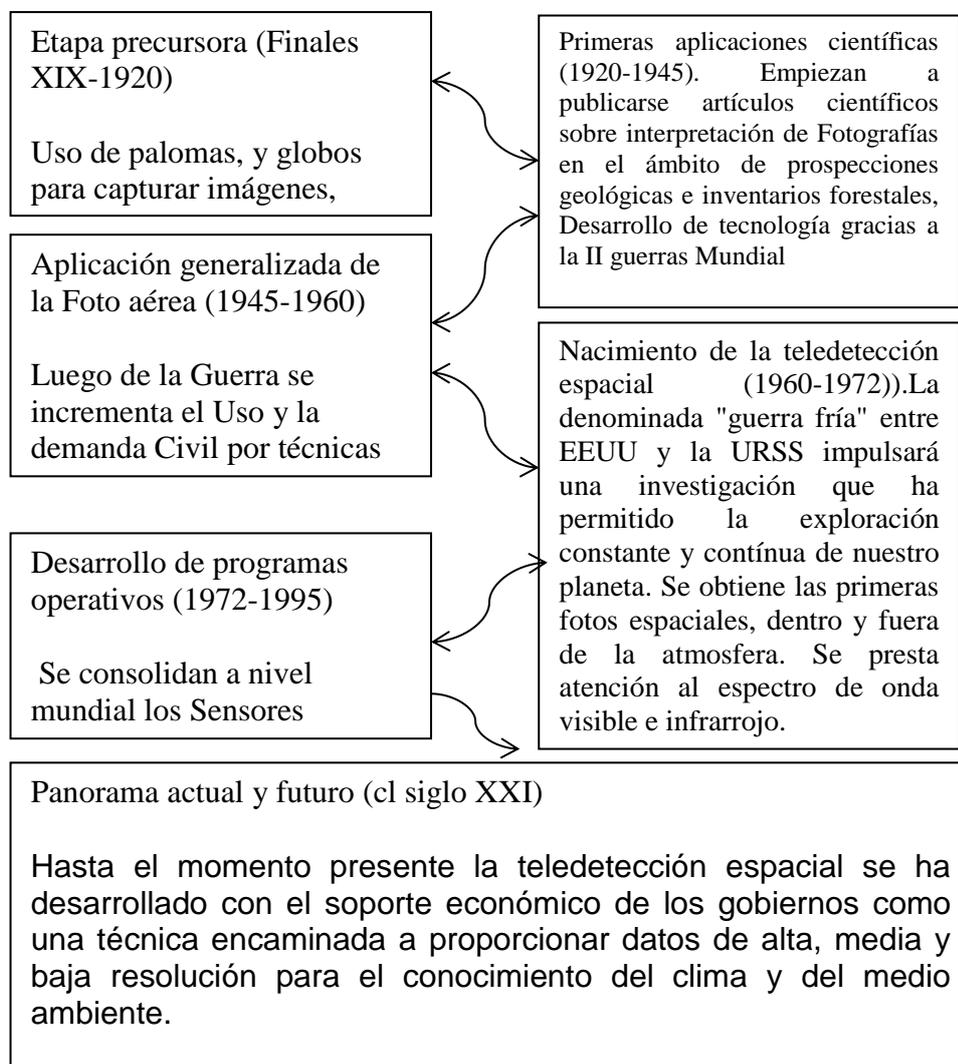
2.4. Reseña histórica

La teledetección es una disciplina que surge y se desarrolla en el siglo XX, distinguiéndose en su evolución dos etapas básicas, la teledetección aérea y la teledetección espacial. Los años 60 con el desarrollo de los satélites artificiales marcan el punto de partida hacia lo que se ha denominado la "era espacial". Si bien la invención de la fotografía data de principios del siglo XIX cuando Niépce y Daguerre produjeron las primeras heliografías, habrá que esperar hasta los inicios del siglo XX, cuando los tiempos de exposición requeridos por las cámaras se reducen porque la sensibilidad de las películas mejora, y cuando se hace realidad el vuelo en avión para que se desarrolle la teledetección aérea.

Tres hechos lo hicieron posible: la mejora en las cámaras fotográficas y el soporte, las posibilidades óptimas de la aviación y el desarrollo de los principios de la estereoscopia y su aplicación para la obtención de fotografías aéreas con fines topográficos (Graham y Read, 1990). Durante todo el siglo XX podemos

distinguir, aunque de forma arbitraria, distintas fases en el proceso evolutivo de la teledetección (Sobrino, 2000).

Figura 4: Cronología de la teledetección ambiental adaptada según Sobrino, (2000).



Fuente:Sobrino, 2000.

Elaboración: El autor.

2.5. Usos y aplicaciones

La observación de la tierra desde el espacio ha experimentado en los últimos años un vertiginoso desarrollo, llegando a ser un elemento cada vez más imprescindible en el seguimiento de procesos ambientales de gran impacto para nuestro planeta, como es el calentamiento climático, la desertificación, la deforestación, o el debilitamiento de la capa de ozono. En ésta como en otras nuevas tecnologías, resulta clave realizar un importante esfuerzo en la



educación y formación continua. Aprovechar el flujo de información que proporcionan los satélites de observación terrestre requiere conocer los fundamentos de la adquisición, su sentido biofísico, los criterios de interpretación más destacados, su relación con otras fuentes de información más convencionales (Chuvieco, 1995).

Desde sus principios la teledetección nace y se consolida con la guerra y el uso militar, sin embargo a partir de su importancia en la observación de fenómenos medio ambientales también se desarrolla como ciencia al servicio del público en general como por ejemplo el servicio meteorológico. Con el servicio del satélite TIROS-1, y del servicio para la agricultura brindando información del estado de los cultivos con índices de vegetación y coberturas del suelo, en la minería, ayuda a hacer prospecciones de minerales, además nos permiten obtener topografías de extensas áreas, todo esto con satélites como LANDSAT, SPOT, IKONOS, EROS, PLEIADES, TerraSAR-X, entre los más citados, hablando únicamente de la plataforma espacial pues también existen el LIDAR que a la par de captura de imágenes de altísima resolución con la diferencia de ser aerotransportadas. Aplicaciones como esta y muchas más se convierten en una herramienta para el hombre en la observación del planeta (Chuvieco, 1995), (Muñoz, 2006), (Olaya, 2011).



Figura 5: Comparación entre aplicaciones convencionales y nuevas de la teledetección (adaptado de Baker. 2001)

USUARIOS TRADICIONALES	POTENCIALES USUARIOS
<p>Gobiernos:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Planificadores civiles — Fuerzas armadas. — Servicios de inteligencia — Centros científicos — Entidades regionales y locales. <p>Organizaciones internacionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Agencias de la ONU (refugiados, medioambientales...) — Programas de cambio global. — Centros regionales (Unión Europeas). <p>Empresas:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Extracción de recursos (petróleo, gas...). — Gestión de recursos (forestales, agrícolas...). — Aerofotografía. — Diseño y lanzamiento de sensores. — Diseño y venta de software de Tratamiento digital. — Empresas de SIG <p>Universidades y centros de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Departamentos de Geografía. <p>Geología, Biología, Ing. Geodésica, Agronomía, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Centros de Teledetección. — Departamentos de Física, Informática. Ingeniería en Telecomunicación <p>Organizaciones profesionales.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Campos afines a las aplicaciones. 	<p>Medios de comunicación:</p> <ul style="list-style-type: none"> — De información general (televisiones, periódicos). — De información específica (revistas) — Editoriales. <p>ONG:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Ambientalistas — Control de armamentos, desarme — Ayuda humanitaria — Derechos humanos. — Gestión de catástrofes. <p>Empresas:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Redes de distribución (electricidad, agua...) — Seguros. — Agricultura de precisión. — Evaluación de impacto ambiental. — Promoción turística. <p>Universidades y centros de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Departamentos de Arqueología, transportes. — Centros multimedia. — Departamentos de Geopolítica <p>Clientes finales:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Mercado inmobiliario. — Decoración

Fuente: (Chuvienco, 2008)

En el mismo sentido Van der Meer & de Jong, (2002), mencionan que a través de la medición de la reflectancia del espectro solar, un amplio rango de científicos, investigadores, y consumidores están empezando a usar las firmas de energía, tanto de moléculas como de dispersión solar, mediante la espectroscopia de imágenes espectrales, y menciona algunos campos de sus aplicaciones:



- ✓ Medición de parámetros atmosféricos: vapor de agua, propiedades de las nubes, presencia de aerosoles, absorción de gases.
- ✓ Ecología vegetal: clorofila, presencia de agua en la hoja, lignina, celulosa, pigmentos, especies vegetales mapas de comunidades, etc.
- ✓ Geología, edafología, mineralogía, etc.
- ✓ Monitoreo de aguas costeras y continentales, presencia de plancton, disueltos orgánico, cantidad de sedimentos, etc.
- ✓ Monitoreo de glaciares, e hidrología: fracciones de cubiertas de nieve, presencia de granizo, impurezas en el glaciar, y fusiones.
- ✓ Quemas forestales: Temperatura de incendios, cuantificación de humo, combustión de productos, etc.
- ✓ Monitoreo de desastres ambientales: seguimiento de contaminantes en superficie y a nivel de sustrato geológico.
- ✓ Otros, detección de infraestructura humana, exploración minera, agricultura de precisión, estado de bosques, calibración de sensores espaciales y aero-transportados entre otras aplicaciones más. (van der Meer & de Jong, 2002a)

2.6. Principios físicos de la teledetección ambiental

Para entender cómo opera la percepción remota o teledetección ambiental, es necesario entender algunos de los principios físicos que la hacen posible. Esto requiere conocimientos de la radiación electromagnética y sus interacciones con varios componentes del medio ambiente. Los elementos involucrados para obtener una señal en forma remota. (Reuter, 2009)



2.6.1. Radiación electromagnética.

La radiación electromagnética se encuentra constituida por un flujo de longitudes de onda compuesta por dos vectores, uno magnético y otro eléctrico, perpendicular entre sí, que se desplazan a una velocidad dada y con una determinada frecuencia, formando un campo de energía continuo, que para efectos de su comprensión se define entre las longitudes de onda, (Castro, 1999).

La radiación es energía, puede existir en una variedad de formas, incluyendo química, eléctrica, calor, y energía mecánica. En el curso del trabajo, la energía suele ser transferida de un cuerpo a otro. Estas transferencias son efectuadas por: conducción, convección, y radiación, (esta última es la única forma en la que la energía electro-magnética puede ser transmitida a través de la materia o en el vacío).

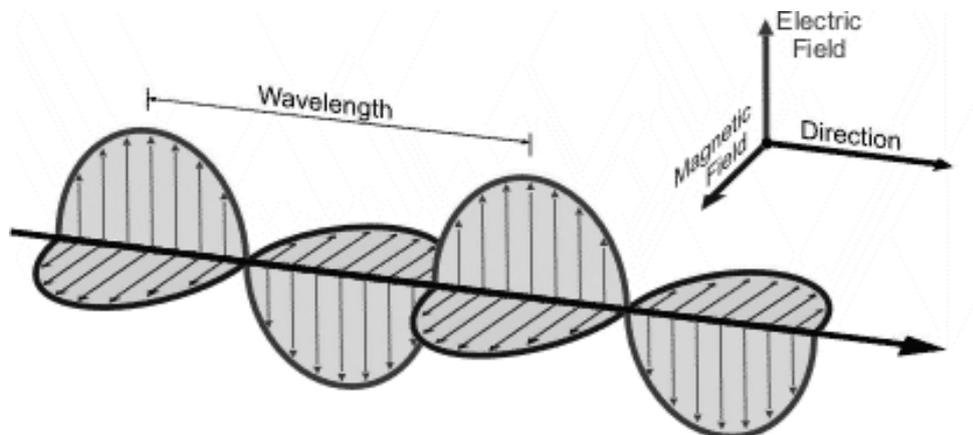
La luz visible es solo una de las formas de energía electromagnética, las ondas de radio, ondas de calor, rayos ultravioletas, rayos X, son también formas familiares de energía, es decir son similares formas de radiación, acorde con los principios básicos de la teoría de la longitud de onda, como muestra la siguiente figura, y cuyas leyes describen la energía electromagnética, como el viaje en armonía y forma sinusoidal, de la “velocidad de la luz” (c),

La distancia de un pico de onda, hasta el siguiente, se denomina “longitud de onda” (λ), y el número de picos que pasan por un punto fijo en el espacio por unidad de tiempo es la “frecuencia” de onda (ν). (Lillesand & Kiefer, 1999)

Determinando principios físicos de las ondas descubrimos que obedecen a la siguiente ecuación (1):

$$c = \nu \cdot \lambda \quad (1)$$

Figura 6: Flujo de longitudes de onda compuesta por dos vectores, uno magnético y otro eléctrico, perpendicular entre sí.



Fuente: (Lillesand & Kiefer, 1999)

Continuando con la explicación de Lillesand & Kiefer, (1999) “Los fundamentos de la teledetección se abordan desde el campo de la física y más concretamente desde los ámbitos de la óptica y la electrónica. La observación remota es posible gracias a la interacción de un flujo energético con las cubiertas terrestres. Dicho flujo recibe el nombre de radiación electromagnética y ha sido explicada por dos teorías físicas”.

- La primera de ellas es la teoría ondulatoria. Para ella la radiación electromagnética es un fenómeno ondulatorio de propagación en el cual actúan dos campos perpendiculares: el magnético y el eléctrico. Esta teoría se explica sobre la base de dos conceptos fundamentales que son la longitud de onda y la frecuencia. La fórmula esencial en la que se sustentan estas teorías es la siguiente:

$$c = F \cdot \lambda \quad (2)$$

Donde c es la velocidad de propagación de la luz (3×10^8 m/s) valor constante, siendo F la frecuencia (en Hertz= 1 ciclo por segundo) y λ la longitud de onda (expresada en micrómetros, nanómetros, etc.).

- Por otra parte, la teoría cuántica nos explica el fenómeno de la radiación electromagnética basándose en sus propiedades energéticas, siendo Q la



energía radiante (en julios) , **F** la frecuencia y **h** como la constante de Plank (6.6×10^{-34} J s):

$$Q = h \cdot F \quad (3)$$

Reemplazando la frecuencia en la fórmula precedente y sustituyendo nos encontraríamos con la siguiente expresión:

$$Q = h \cdot (c / \lambda) \quad (3) \text{ reemplazando con (2)}$$

Del análisis de esta expresión se deduce que a medida que trabajemos con longitudes de onda mayores, sus contenidos energéticos serán menores por tanto habrá más dificultades para la detección de estas radiaciones, (Chuvieco, 2008), (Lillesand & Kiefer, 1999).

En el momento actual de desarrollo tecnológico los sensores espaciales utilizan un ámbito reducido de longitudes de onda que van desde el espectro visible comprendido entre 0.4 y 0.7 nanómetros, hasta el dominio de las microondas (ondas de más de 1 milímetro), pasando en un emplazamiento intermedio, por las regiones espectrales del infrarrojo (próximo, medio y térmico), (Muñoz, 2006).

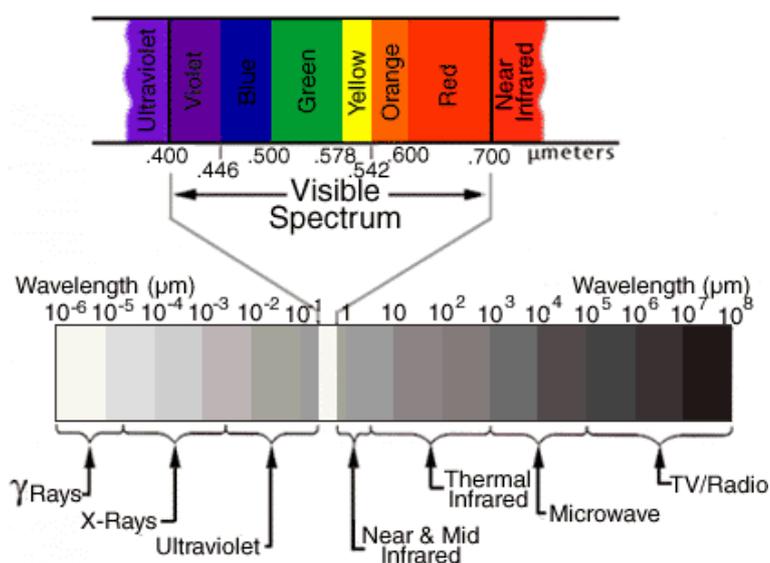
2.6.2. Espectro electromagnético

La luz puede representarse como una onda electromagnética armónica que se propaga tanto en el vacío como en medios materiales. La radiación electromagnética se describe utilizando la longitud de onda (λ) que se define como la distancia que hay que recorrer para encontrar un punto semejante a lo largo de la onda. (Boreman, 1999)

De acuerdo a las propiedades físicas de la radiación, el espectro electromagnético es un arreglo continuo de radiaciones, ordenado según longitud de onda o frecuencia. En términos de longitud se ha demostrado que se extiende desde angstroms (1×10^{-10} metros) hasta kilómetros (km), (Castro, 1999).

El conjunto de las longitudes de onda que puede adoptar la radiación se denomina espectro electromagnético. Por razones prácticas se suele dividir en una serie de regiones debido a que las longitudes de onda dentro de esas regiones presentan cierta homogeneidad en determinados aspectos. Los límites de que se han fijado a esas regiones son aproximados y varían de unos autores a otros, existiendo además superposiciones entre regiones contiguas. (Sarria & Palazón, 2008)

Figura 7: Representación gráfica del espectro electromagnético, énfasis en el espectro visible.



Fuente: (<http://www.astro.virginia.edu/>).

Espectro visible (0,4 a 0,7 μm). Se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que pueden percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul (0,4 a 0,5 μm); verde (0,5 a 0,6 μm), y rojo (0,6 a 0,7 μm), en razón de los colores elementales asociados a esas longitudes de onda.

Infrarrojo cercano (0,7 a 1,3 μm). A veces se denomina también infrarrojo reflejado y fotográfico, puesto que puede detectarse a partir de films dotados de emulsiones especiales. Resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.



Infrarrojo medio (1,3 a 8 μm), en donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. La primera banda se sitúa entre 1.3 y 2.5 μm y se denomina de onda corta, que resulta idónea para estimar el contenido de humedad en la vegetación o los suelos. La segunda, comprendida principalmente en torno a 3.7 μm , se conoce propiamente como infrarrojo medio, siendo determinante para la detección de focos de alta temperatura (incendios o volcanes activos).

Infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 μm), que incluye la porción emisiva del espectro terrestre. En donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas vegetales.

Micro-ondas (a partir de 1 mm), con gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa (Chuvieco, 2008).

Más adelante se estudiará el comportamiento espectral de las principales cubiertas terrestres en cada una de estas bandas del espectro. Además de ello, convendrá introducir algunos conceptos y unidades de medida comúnmente empleadas en teledetección.

2.6.3. Radiometría

La radiometría es el campo de la ciencia y de la ingeniería relacionado con la medición de la radiación electromagnética.

La definición y análisis de las magnitudes radiométricas es imprescindible para entender la transferencia de flujo electromagnético a través de los sistemas ópticos.

La cuestión fundamental es calcular cuánta potencia emitida por una fuente de luz es llevada hasta la superficie del detector, conocidas las características y situación geométrica del sistema óptico y de la fuente, (Boreman, 1999).

Nos restringiremos a la radiometría de fuentes térmicas no coherentes excluyendo las fuentes láser y otros tipos de fuentes coherentes.



La radiometría utiliza radiómetros, que son dispositivos para medir el flujo radiante, de radiación electromagnética, generalmente el termino radiómetro denota un detector de infrarrojo, aunque este también opera detectando otras longitudes de onda de la energía electromagnética, (Jensen, 2009).

2.6.4. Términos y magnitudes radiométricas utilizadas en teledetección.

Energía Radiante (Q) energía radiada en todas direcciones (Julios).

Flujo Radiante (ϕ): energía radiada en todas direcciones por unidad de tiempo (W).

Emitancia (M): (Exitancia) energía radiada en todas direcciones desde la unidad de área y unidad de tiempo (W/m²).

Reflectividad (p): relación entre el flujo incidente y el reflejado por superficie.

Radiancia (L): total de energía radiada en una dirección por unidad de área y por ángulo sólido de medida (W/m² sr).

(Manzano, 2008)

Tabla 1: Magnitudes radiométricas comunes en teledetección.

Concepto	Símbolo	Fórmula	Unidad de medida
Energía radiante	Q	-----	Julios (J)
Flujo radiante	ϕ	dQ/dt	Vatios (W)
Emitancia	M	$d\phi/dA$	Wm ⁻²
Irradiancia	E	$d\phi/dA$	Wm ⁻²
Intensidad radiante	I	$d\phi/d\Omega$	Wsr ⁻¹
Radiancia	L	$d\phi/dA \cos^{\theta}$	Wm ⁻² sr ⁻¹
Radiancia espectral	L_{λ}	$dL/d\lambda$	Wm ⁻² sr ⁻¹ μ m ⁻¹
Emisividad	ϵ	M/Mnegro	
Reflectividad	P	ϕ_r/ϕ_i	



Absortividad	A	ϕ_a/ϕ_i
Transmisividad	T	ϕ_t/ϕ_i

Fuente: adaptado de (Chuvienco, 2008).

Emisividad: El cuerpo negro, llamado radiador completo, irradia máxima energía. Los cuerpos no negros presentan menor exitancia a igualdad de temperatura.

Se define la emisividad como «el cociente entre la exitancia de un radiador térmico y la del radiador completo a la misma temperatura». La emisividad del cuerpo negro es uno. La de un cuerpo «blanco» o «especular» es cero.

La emisividad de una superficie puede ser diferente, no sólo para cada frecuencia, sino también para cada dirección. Por ello se considera la magnitud emisividad espectral direccional.

La definición es: «el cociente entre la radiancia espectral de un radiador térmico y la del radiador completo (cuerpo negro) en la misma dirección, θ , ϕ , a la misma temperatura». Observemos que en la definición se considera la radiancia (que se refiere a una dirección d , θ y ϕ a la unidad de ángulo sólido) y no la exitancia (que considera la radiación emitida por la superficie en todas direcciones), (Morilla, 2011).

Reflectividad: Relación entre el flujo incidente y el reflejado por una superficie.

Absortancia: Llamada también absortividad esta magnitud recibe muchos nombres como coeficiente de absorción y también poder absorbente. Es la relación entre el flujo incidente y el que absorbe una superficie.

Al incidir una radiación (una onda electromagnética) sobre una superficie de un cuerpo material, una parte de la energía se absorbe. El resto se refleja. (La energía «absorbida» puede ser disipada o continuar su propagación por el interior del cuerpo en el que ha penetrado, aspectos de los que se prescinde al definir la absortancia).



Se define la absorptancia como el cociente entre el flujo radiante absorbido y el flujo radiante incidente, sobre una superficie dada. La absorptancia de una superficie puede depender, no sólo de la longitud de onda, sino también a veces de la dirección en que incide la radiación sobre la superficie.

Surge así la magnitud física absorptancia espectral direccional, que se define como el cociente entre el flujo radiante espectral absorbido, que recibe una superficie por unidad de ángulo sólido en una dirección dada, y el flujo radiante incidente sobre una superficie. (Morilla, 2011)

Transmisividad: Relación entre el flujo incidente y el transmitido por una superficie.

En espectroscopia se le considera como una porción específica de longitudes de onda que pasan a través de una muestra.

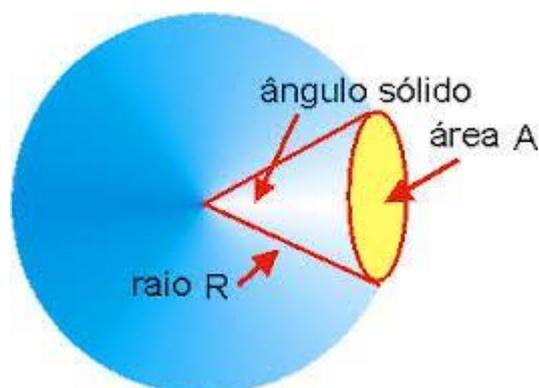
Emilio Chuvieco, (2008), realiza la siguiente aclaración para entender estos términos cuya procedencia es el idioma inglés y menciona “Estos últimos términos son adimensionales; suelen expresarse en tantos por ciento o por uno. Por esta razón, hemos traducido los términos ingleses: emittance, reflectance, absorptance y transmittance, añadiendo el sufijo «ividad», para indicar que son cantidades relativas, distinguiéndolas así de las anteriores, que son absolutas (de ahí el sufijo «ancia»). También estas magnitudes son dependientes de la longitud de onda, por lo que conviene completarlas con el calificativo de espectral, para referirse a su comportamiento en una banda determinada del espectro.”

Ángulo sólido: Según Morilla & Morilla, (2011) La definición de ángulo sólido es: «la relación entre el área cortada en una esfera por un cono cuyo vértice está en el centro de la esfera, y el cuadrado del radio.

El ángulo sólido permite especificar el rango de direcciones en el espacio tridimensional que pueden ser tomadas desde un punto del espacio hasta una superficie dada. El ángulo sólido es una magnitud adimensional cuya unidad es el estereorradián (sr). Para entender el significado geométrico del ángulo sólido

es conveniente recordar la definición de un ángulo y su expresión en radianes en el plano, (Boreman, 1999).

Figura 8: Representación gráfica de un ángulo sólido.



Fuente: (alfaconnection.net/pag_avsm/geo0203.htm)

2.6.5. Radiometría o espectro-radiometría de campo

Por radiometría de campo se le considera como la medida de la reflectividad espectral de cualquier superficie en un medio natural, llevando implícito el estudio de las interrelaciones entre las características espectrales de la misma y sus atributos biológicos y siempre que hagamos referencia a esta técnica de medida, entenderemos que nos estamos restringiendo al espectro solar, es decir, de 0.3 a 3.0 μm , aproximadamente. (Milton, 1987)

La radiometría de campo juega un papel muy importante en, al menos,

Dos apartados de la teledetección:

- ✓ Actúa como puente entre las medidas de laboratorio de la reflectividad espectral y la situación real del campo, siendo, además, muy útil en el calibrado de sensores a bordo de aviones y de satélites (Holm et al., 1989)
- ✓ Es útil para predecir las bandas espectrales, la configuración de la observación y el intervalo temporal óptimos, para realizar una investigación determinada en teledetección (Danson et al., 1990).



- ✓ Un espectro-radiómetro es un instrumento usado para medir propiedades de la luz sobre una porción específica del espectro-electromagnético, este instrumento es típico usado en análisis espectroscópicos, especialmente para identificar materiales. La variabilidad de las medidas es a menudo debido a la intensidad de la luz, La variable independiente es por lo general la longitud de onda, (Jensen, 2009).

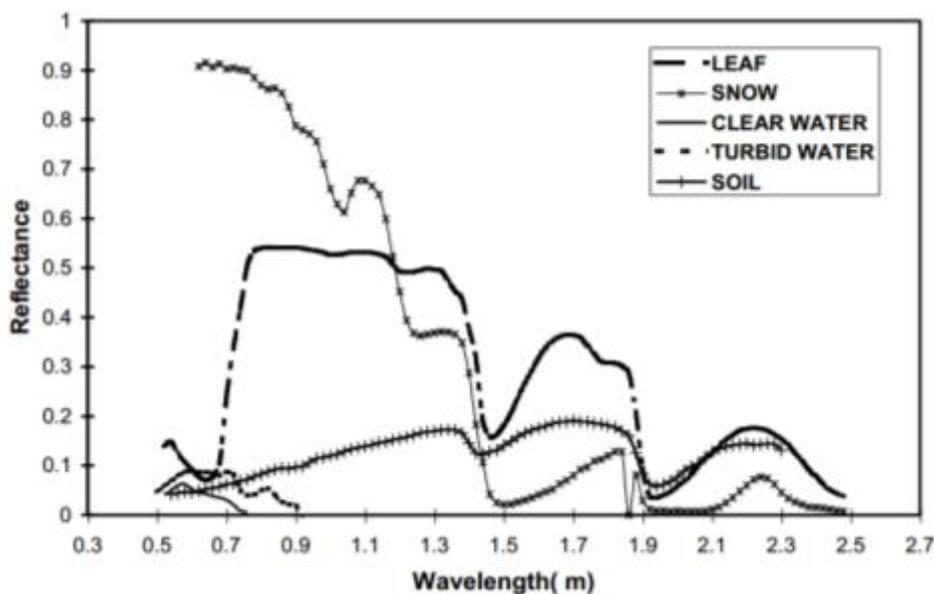
2.6.6. Firma espectral

Según menciona, Muñoz, (2006) en relación a la firma espectral “Si en un gráfico representamos la longitud de onda en el eje de las X y la reflectividad en el eje de las Y podremos observar que cada cubierta se ve representada por una curva característica, que con sus singularidad nos da una idea de rúbricas, que personalizan su comportamiento espectral frente a otras cubiertas, a dichas curvas se las denomina espectros, signaturas o firmas espectrales.”

Signatura espectral, espectros, firma de reflectividad, son algunos nombres que reciben el gráfico formado de la relación que existe entre el cociente de la cantidad de energía radiante incidente con la energía reflejada.

Para apreciar el rol de los sensores remotos en varios campos, es bueno entender el comportamiento de los objetos con respecto al espectro electromagnético. El comportamiento espectral de estos objetos son las características básicas para entender e interpretar los fenómenos y características identificables, es así que la firma espectral de un objeto comprende una serie de valores de reflectancia, emitancia, en diferentes bandas espectrales, sabiendo que cada objeto reacciona de diferente manera ante la energía.(Jensen, 2009)

Figura 9: Ejemplos de Firmas espectrales de Diferentes objetos



Fuente: Adaptado de (Jensen, 2009)

2.6.7. Interacción de energía con las características de la superficie terrestre

La energía como fenómeno en la naturaleza reacciona de diferentes maneras frente a los diferentes objetos de la superficie terrestre.

2.6.7.1. Propiedades reflectivas de la superficies

En lo que se refiere a las condiciones de observación, conviene saber en qué dirección se está reflejando la energía, lo cual depende del ángulo con que la superficie refleje dicha energía incidente, esta geometría se relaciona mucho con el tipo de superficie, con lo que se ha llevado a distinguir dos tipos de superficies, una de ellas se caracteriza por reflejar la energía incidente con el mismo ángulo de flujo incidente llamada especular y la segunda superficie característica por reflejar uniformemente en todas las direcciones llamada lambertiana. (Chuvienco, 2008).

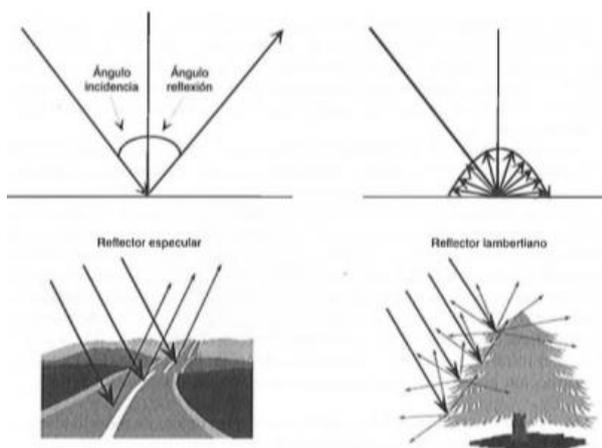
Manzano, (2008), menciona que a rugosidades menores a las longitudes de onda medidas, refleja energía en todas las direcciones, mientras que a rugosidades mayores a las longitudes de onda presentan reflexiones especulares.

Superficie Especular.- Al momento de medir una superficie con características especulares, únicamente los sensores captan la energía incidente cuando se encuentran en el mismo ángulo del flujo incidente siendo nula las menciones en cualquier otro caso

Superficies Lambertianas.- Una superficie difusora refleja y difunde en todas direcciones un haz de rayos incidentes paralelos, de forma que las leyes de la reflexión no llegan a describir completamente la interacción de la radiación electromagnética con la superficie, es así que dándose cuenta de éste fenómeno Lambert definió como superficies perfectamente difusoras (superficies Lambertianas), como aquellas en las que la radiancia, L , es constante para cualquier ángulo de reflexión.

La mayor parte de las cubiertas tienden a comportarse de manera intermedia entre especulares y lambertianas, por lo que en mediciones de campo debe considerarse un ángulo de incidencia a la vez que se la considera superficie lambertiana, por lo que en la práctica, la mayor parte de las superficies presentan una clara reflectividad direccional, es decir la reflexión es más intensa en ciertas direcciones, por lo que se intenta considerar este factor en los modelos de cálculo más avanzados, como por ejemplo (modelos de corrección BRDF)(Chuvieco, 2008).

Figura 10: Comportamiento reflectivo



Fuente: Adaptado de (Chuvieco, 2008)

2.6.8. Descripción del espectro óptico

Se considera dominio óptico del espectro al grupo de longitudes de onda directamente dependientes de la energía solar, comprendidas entre el visible y el SWIR (0,4 a 2,5 μm).

La luz que conocemos para poder entenderla podemos descomponerla de la siguiente manera: (figura 8).

Figura 11: Representación gráfica del flujo incidente con respecto a la superficie terrestre



Fuente: Universidad de Almería Principios físicos TA

Aquí podemos interpretar que del total de porción de energía incidente del sol, una parte es reflejada, (dependiendo el tipo de superficie), otra parte es absorbida por la materia con la que se encuentra, y una porción final que atraviesa la materia y sale del objeto se le conoce como transmitida, que en teoría si se juntan estos tres comportamientos de la energía frente a un objeto podremos calcular la energía incidente.

En otras palabras un flujo de energía sobre una superficie es reflejado, absorbido y transmitido, además de que podemos mencionar que la relación entre estas tres magnitudes no es constante, sino al contrario variable, encontramos que dependen directamente de la longitud de onda. (Chuvieco, 2008), (Toselli & Bodetctel, 1992), (van der Meer & de Jong, 2002b).

Por todo lo anterior Chuvieco, (2008), menciona en su libro que “para poder caracterizar una determinada cubierta nos resulta muy interesante conocer su



comportamiento reflectivo en diversas longitudes de onda, ya que esto facilitará discriminarlo frente a cubiertas espectrales similares”.

Cabe mencionar que dentro del espectro visible, los cambios discriminables, que presentan distintas longitudes de onda que mencionamos anteriormente, corresponderían a lo que llamamos colores.

2.6.9. **Propiedades espectrales de los objetos**

La superficie de nuestro planeta, de modo global, se considera dividida en tres grandes tipos de cubiertas, cada cubierta encierra múltiples situaciones individuales distintas. Con cada una de las coberturas citadas a continuación, el comportamiento espectral, refleja la energía en las distintas longitudes de onda, con lo que se puede observar un comportamiento para nada único ni homogéneo sino que varía sustancialmente en función de los siguientes factores según Muñoz, (2006):

- ✓ Físicos: en relación con la temperatura, humedad o textura.
- ✓ Químicos: variaciones de composición, contenido en materia orgánica, etc.
- ✓ Ambientales: pendiente, orientación, estación del año, hora de la toma, etc.

Esta complejidad de comportamientos induce, en primera instancia, dificultades a la hora de interpretar las imágenes, pero por otra parte, esto es lo realmente importante, enriquece la información capturada introduciendo múltiples matices en ella. De ellos harán uso las diferentes disciplinas para desarrollar estudios, investigaciones en los que la Teledetección aparece como una herramienta de excepcional importancia, (Muñoz, 2006).

Algunas cubiertas tienden a presentar una respuesta uniforme en diferentes longitudes de onda, mientras otras presentan un comportamiento mucho más selectivo, como por ejemplo la nieve por lo regular presenta altas reflectancias y además constantes en bandas bajas, entonces el agua al contrario que la



nieve el agua tiende a absorber la energía, por otro lado la vegetación presenta características multicolor con valores poco representativos en bandas bajas, e importantes en la región de los infrarrojos, (Chuvieco, 2008).

Todas estas cubiertas presentan factores a considerar tales como:

- ✓ Angulo de Iluminación solar
- ✓ Posición Fisiográfica
- ✓ Influencia de la atmosfera (presencia de nubes)
- ✓ Estados fenológicos
- ✓ Sustratos edafológicos y litológicos
- ✓ (Barret & Curtis, 1995),(Boreman, 1999), (Sarria & Palazón, 2008).

2.6.9.1. Propiedades espectrales de las plantas

La caracterización espectral de cubiertas vegetales es una de las áreas más interesantes en teledetección, aunque aún ofrece grandes dificultades, ya que podemos observar factores que influyen en la radiancia final medida por el sensor (Chuvieco, 2008).

Sobrino, (2000) explica como el comportamiento, que se puede definir como típico, en cuanto se refiere a una hoja está sujeto a variaciones en función de los factores que influyen en las propiedades espectrales como sería el caso de:

- ✓ La estructura anatómica de las hojas.
- ✓ Edad que hace que desaparezca la clorofila y por lo tanto aumente la reflectividad en el amarillo y el rojo.
- ✓ El contenido en agua de las hojas, lo que implica en el caso de hojas secas un aumento de la reflectividad que es más acusado en el MIR que en el VIS.
- ✓ Las deficiencias en minerales que afectan a la tenencia en clorofila y a la estructura anatómica de la hoja.



- ✓ Los ataques de parásitos que modifican los pigmentos, producen necrosis, y afectan a los intercambios hídricos y por tanto al valor de la reflectividad medida. (Lillesand & Kiefer, 1999)

También Sobrino, (2000) menciona que el comportamiento de la reflectividad de una hoja será diferente con respecto a cubiertas vegetales, que vendría a ser el conjunto de hojas, en diferente geometría, unas complejas o y no tan complejas, suelo, sombras, etc., por lo que se vuelve arriesgado hablar de respuestas espectrales típicas si no se considera todos estos factores.

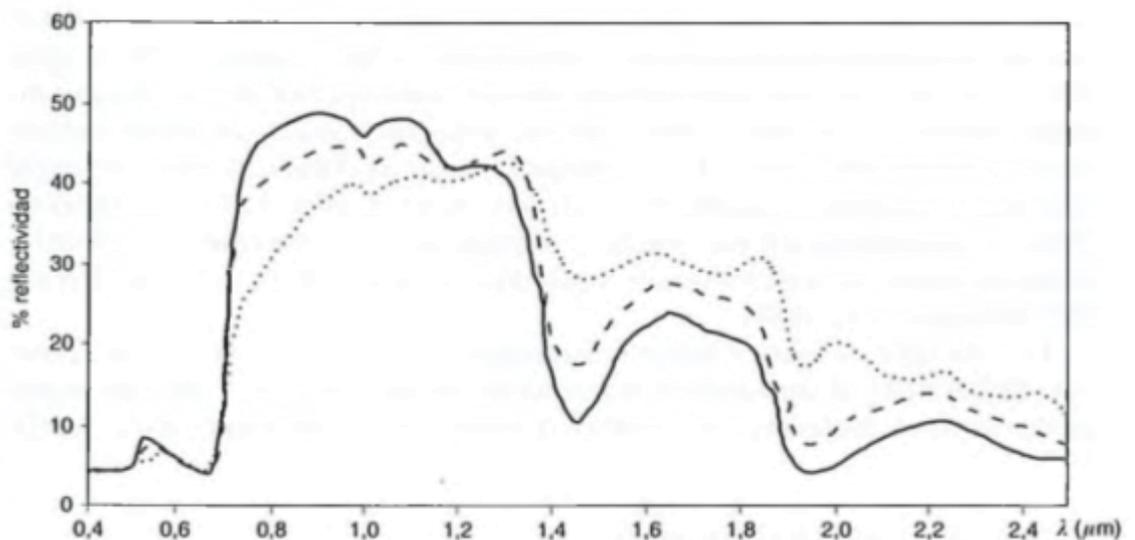
La baja reflectividad en la porción visible del espectro se debe al efecto absorbente de los pigmentos de la hoja, principalmente la clorofila 65%, xantofila 29% y caroteno 6%, en general aunque estos valores son muy variables se debe tener en cuenta también que las capturas del sensor muchas veces en campo no miden hojas aisladas, sino en las mediciones se incluyen coberturas vegetales.

Podemos sacar algunas conclusiones con respecto a las mediciones de campo y podemos decir que la observación remota de las cubiertas vegetales puede verse reflejado en el gran contraste cromático de la vegetación vigorosa entre las distintas bandas del espectro, y singularmente entre el visible donde observamos alta absorción, baja reflectividad, y el IRC con alta reflectividad. Mediante estas observaciones vemos que como principio genérico, "...cuanto mayor sea el contraste entre esas bandas, mayor será el vigor de la vegetación, y más clara su discriminación frente a otros tipos de cubierta..." como cita Chuvieco, (2008), además podemos concluir que este comportamiento espectral teórico de las cubiertas vegetales ha sido la base para obtener una serie de índices de vegetación, que se basan precisamente en el contraste entre las bandas rojo y el infrarrojo cercano del espectro, estas relaciones tienden a presentarse de forma más nítida las características de la vegetación, facilitando su aislamiento de otras cubiertas y la detección de su estado vital.

Por conclusiones se puede entender que cualquier fuente de estrés en la vegetación se mostrará en un comportamiento espectral más o menos alejado

del comportamiento normal, como por ejemplo la hoja senescente o enferma tiende a perder actividad clorofílica y, en consecuencia, a ofrecer una menor absorptividad en las bandas azul y roja del espectro visible, el aumento consecuente de la reflectividad en estas bandas elimina el máximo relativo antes situado en el verde, por lo que la hoja tiende a mostrar un color amarillento. Por el contrario, en el infrarrojo cercano se produce una reducción de la reflectividad, como consecuencia de un deterioro en la estructura celular de la hoja. La curva espectral, por tanto, se hace más plana, menos cromática.

Figura 12: Firmas espectrales típicas de Vegetación.



Fuente: Adaptado de (Chuvieco, 2008)

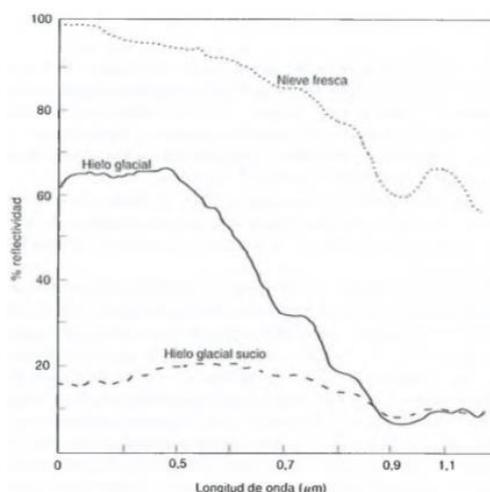
Estas observaciones son válidas para detectar daños producidos por plagas o incendios forestales. Además, se ha comprobado que ciertos factores de estrés en la hoja están asociados a un desplazamiento en el límite del rojo (conocida como red-edge) esto es, en el cambio de pendiente de la curva espectral entre el rojo y el infrarrojo cercano, hacia longitudes más cortas. Este fenómeno se ha observado, por ejemplo, cuando las plantas están afectadas por contaminación de metales pesados. Por otro lado, en varios estudios se ha comprobado una clara relación entre el cociente IRC/SWIR y el contenido de humedad en las hojas, lo que permite determinar aquellas zonas afectadas por estrés hídrico, (Chuvieco, 2008), (McCoy, 2005), (Ben-Dor et al., 2009), (Hapke, 2012), (Castro, 1999), (Lillesand & Kiefer, 1999).

2.6.9.2. Propiedades espectrales del Agua

El agua y en general las superficies acuáticas, por sus características de superficie se le debe considerar como una superficie especular, además debemos mencionar que el agua en general absorbe y transmite la mayor parte de la radiación óptica que recibe, se considera que las firmas espectrales del agua son iguales que las firmas espectrales de suelos solo que en sentido contrario, podemos distinguir algunas características como que el agua clara presenta mayor reflectividad alrededor del azul, reduciéndose a medida que se acerca al infrarrojo, donde es prácticamente nula, por estas características y muchas otras podemos decir, la frontera entre suelo y agua es fácilmente delimitable y reconocible.

En cuanto a la reflectividad en el azul de agua su variación correspondería a la profundidad del agua, a más de reflejar el fondo y todas sus características en caso de que presenten reflectividad en verde podría deberse a presencia de clorofila proveniente de algas presentes en el agua, además de considerar que el agua puede contener sedimentos cuyos compuesto químicos le den diferentes tipos de reflectancias, a lo que se le relaciona con la turbidez.

Figura 13: Firmas espectrales típicas del Agua.



Fuente: Adaptado de (Chuvieco, 2008)



2.6.9.3. Propiedades Espectrales del Suelo

El comportamiento espectral del suelo es considerablemente diferente por la vegetación existente, cuando la reflectancia del suelo es medida convencionalmente, recién cuando medimos entre 400-2500 nm muestra subidas y bajadas de la curva. El factor que influencia en la reflectancia del suelo parece ser menos específica que las bandas que caracterizan la vegetación. Las propiedades del suelo más características comprendidas en el espectro óptico de reflectancia son el contenido de humedad, contenido de materia orgánica, textura, estructura, contenido de hierro, composición de minerales, tipos de arcillas y las condiciones superficiales del suelo, (van der Meer & de Jong, 2002).

Con respecto al contenido de humedad generalmente decrece la reflectancia del suelo por todo el espectro, por lo tanto un suelo húmedo aparecerá más oscuro que un suelo seco.

Gandía, Meliá, y Miralles, (1991), en su libro también menciona las respuestas espectrales de los suelos son confusas por su mezcla con la vegetación, por las limitaciones de la resolución espacial y porque generalmente no presentan rasgos muy marcados. Sin embargo se puede decir que la humedad del suelo provoca una disminución de la reflectividad, que el aumento del tamaño de las partículas provoca un descenso en la reflectividad al aumentar la rugosidad, y que la materia orgánica también causa un descenso en la reflectividad, como principales características.

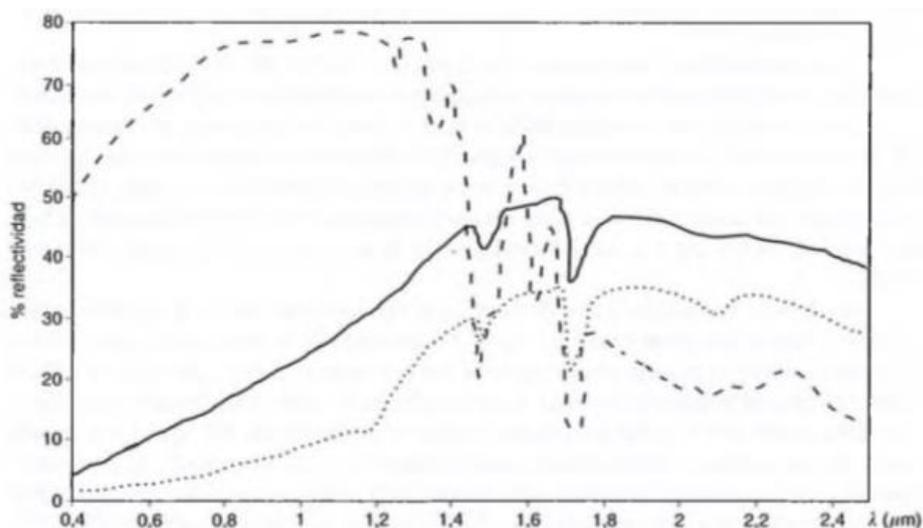
En teledetección importa el estrato más superficial (el que se ve). Pero es esencial conocer las propiedades de los estratos más profundos sobre todo cuando tienen lugar procesos de erosión, ya que entonces el primer horizonte habrá desaparecido. Las curvas de reflectividad son como veremos menos complejas que las de la vegetación debido a que en los suelos no existe transmisión. En general la reflectividad de los suelos aumenta con la longitud de onda.

Los suelos desnudos (sin vegetación) muestran una curva casi horizontal pero suavemente ascendente desde el visible al infrarrojo próximo. La respuesta espectral presenta cierta variabilidad según las propiedades físico-químicas del suelo: generalmente son más brillantes (mayor reflectividad) que los suelos húmedos, (Sobrino, 2000).

En lo que atañe a los suelos desnudos, su comportamiento espectral es mucho más uniforme que el de la vegetación, mostrando una curva espectral más plana, los principales factores que intervienen en este caso son la composición química del suelo, su textura, estructura y contenido de humedad.

Como es obvio el color dominante del suelo será determinado por las características químicas de las que se compone dicho suelo, consecuentemente podemos decir que la firma espectral de un suelo representará los contenidos químicos del mismo, aunque en la longitud de onda que se mide, se conoce que hasta el infrarrojo cercano presenta altas reflectividades, (Chuvieco, 2008).

Figura 14: Firmas espectrales típicas de Suelo.



Fuente: Adaptado de (Chuvieco, 2008)



CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Materiales

3.1.1. Equipos

- Ordenador de Escritorio
- Ordenador Portátil
- Espectro Radiómetro de campo modelo “BLACK-Comet BLK-C-SR 200-1080” y “DWARF-Star Miniature NIR Spectrometer 1000-1700”. (Anexo)
- Navegador GPS y DGPS
- Papel bond
- Cinta Métrica

3.1.2. Software

- Sistemas de Información Geográfico (ArcGis 10.2.1)
- SpectraWiz Spectrometer Software v5.3
- Procesador de Texto (Microsoft Office)
- Hoja de cálculo (Microsoft Office)

3.2. Método

La presente investigación por su contenido se enmarca en una propuesta metodológica cualitativa ya que no cuantifica variables, además se caracteriza por ser exploratoria en función de los niveles de categorización mencionados por Sampieri, Collado, & Lucio, (2006), “Los estudios exploratorios se efectúan, normalmente, cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes.”, por lo tanto fortalecido por la revisión de literatura se enmarca en un tipo de estudios exploratorios, que nos sirve para familiarizarnos con fenómenos relativamente desconocidos, teniendo como conclusión la posibilidad de llevar a cabo más investigaciones avanzadas sobre los fenómenos relacionados al tema.



3.2.1. Procedimientos

Con el fin de disponer de un manual de operaciones para la captura de firmas espectrales con el espectro radiómetro de campo de marca StellarNet, con el que se dispone para este proyecto, es necesario estudiar los fundamentos de esta tecnología (espectro-radiometría), por lo que es inevitable auxiliarse de un respaldo bibliográfico de preferencia reciente, es decir **recopilación de información**. Además de disponer de una **apertura colaborativa con grupos de investigación** que trabajen en el mismo tema, lo que nos obliga a realizar un **sondeo de usuarios y entidades**, que incursionan en dicha ciencia con el objeto de compartir información y soporte, dicho sondeo se realiza a nivel: local, nacional, regional y mundial. En esa situación las universidades y los institutos de investigación estatales pueden ser los lugares donde se indaga, ya que a nivel privado la información tiene cierto grado de restricción.

Al realizar un estudio detenido del **manual de usuario del espectro-radiómetro**, nos permitimos identificar todos los componentes físicos, como los requerimientos de software, de manera que se traduzca en un protocolo el cual permita cubrir todos los requerimientos del sistema para capturar información.

Una vez conocido el instrumento, se expondrá el equipo a **pruebas locales** en las que se encuentra la secuencia correcta de la conjugación de sus partes, y se prueban diferentes configuraciones, en diferentes condiciones (variedad de superficies, presencia de nubosidad, sombras), sin olvidar que el objetivo del manual de operaciones a obtenerse es la captura de coberturas vegetales.

Con las pruebas se llega a **proponer y afinar protocolos** creando la posibilidad de pensar en un post-proceso de la información, con los primeros datos obtenidos se tratará de construir firmas espectral, asumiendo que toda la información recolectada en trabajos de campo necesita un cierto grado de post-proceso, deberemos **identificar esas necesidades de post-proceso** para nuestra información.



Cuando se llegue a proponer un manual de operaciones, para capturar información espectral, se realiza **pruebas de campo para probar el manual propuesto** y su correspondiente post-proceso. Esto implica identificación de áreas a ser muestreada, delimitación de dichas áreas, encontrar un procedimiento que permita el cálculo y distribución de muestras, además de realizar análisis de características generales de las firmas obtenidas. Permittiéndonos de esta manera con todos los resultados y experiencias obtenidas, dar a conocer a grupos de interés, los alcances que podemos conseguir con esta tecnología.

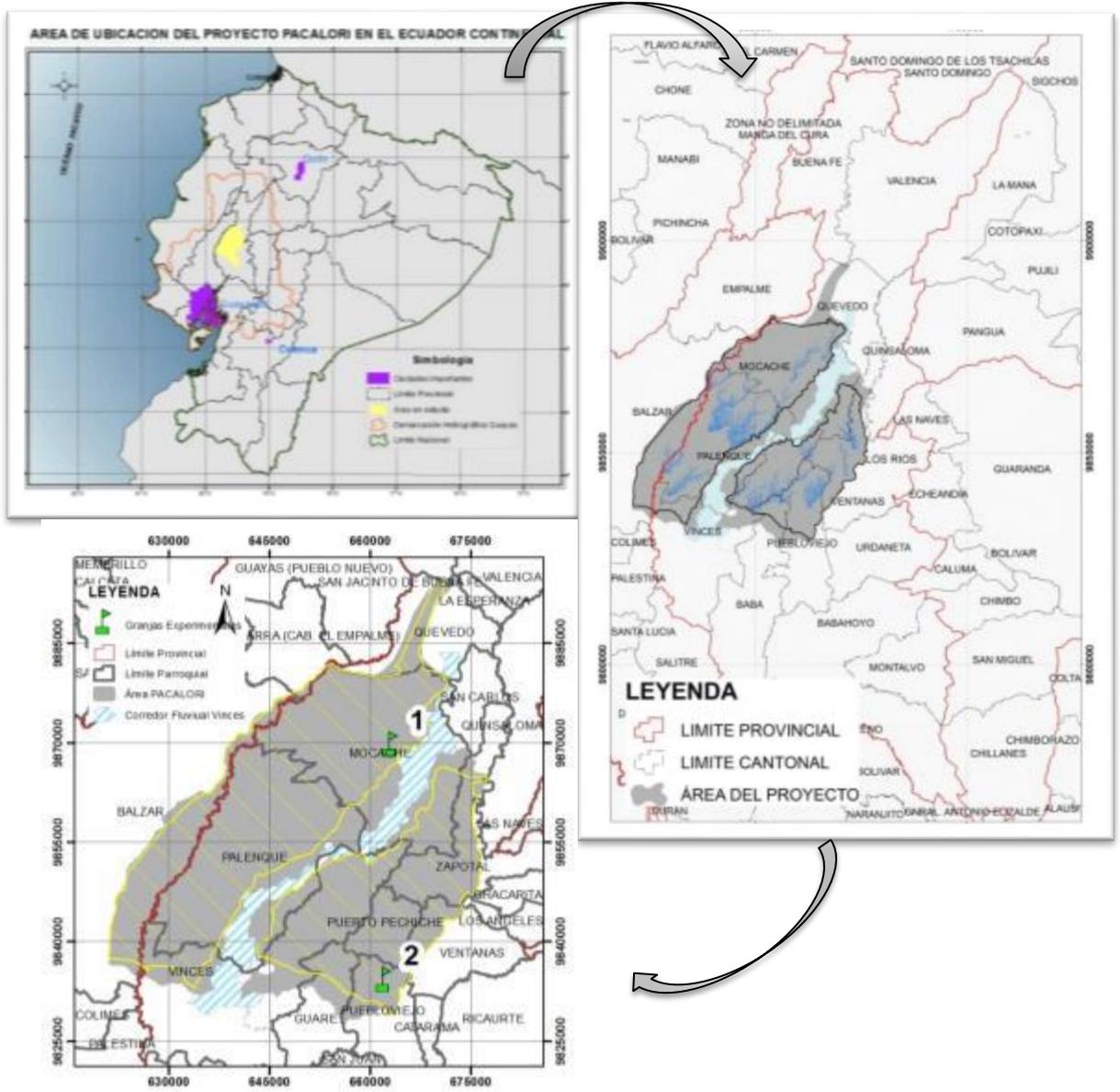
3.2.1. Localización geográfica

El presente trabajo fue realizado en dos lugares, el primero que concierne al trabajo de oficina y pruebas locales y el segundo que corresponde a las pruebas de campo, mencionada en el proceso metodológico. En el primer caso se utilizaron los predios e inmediaciones de la universidad de Cuenca (campus central), y en el segundo caso en dos granjas ubicadas en la provincia de Los Ríos

La provincia de Los Ríos, se encuentra ubicada en la zona costanera ecuatoriana, su capital administrativa es la ciudad de Babahoyo, y está conformada por 13 cantones, aquí se puede encontrar temperaturas que varían entre 17.6 °C y 34.2 °C, se registran precipitaciones entre 706 mm a 1122 mm anuales en tanto que la evaporación varía entre 842 mm y 912 mm anuales, (PROMAS-Universidad de Cuenca, 2014).

La provincia se caracteriza por su producción agrícola de maíz que abastece a gran parte de las ciudades principales como Quito, Guayaquil, Cuenca, además posee los suelos más fértiles del país cuyo origen proviene de sedimentos cuaternarios y depósitos aluviales recientes.

Figura 15: Ubicación del proyecto PACALORI a nivel nacional, provincial y cantonal.



Fuente: El autor



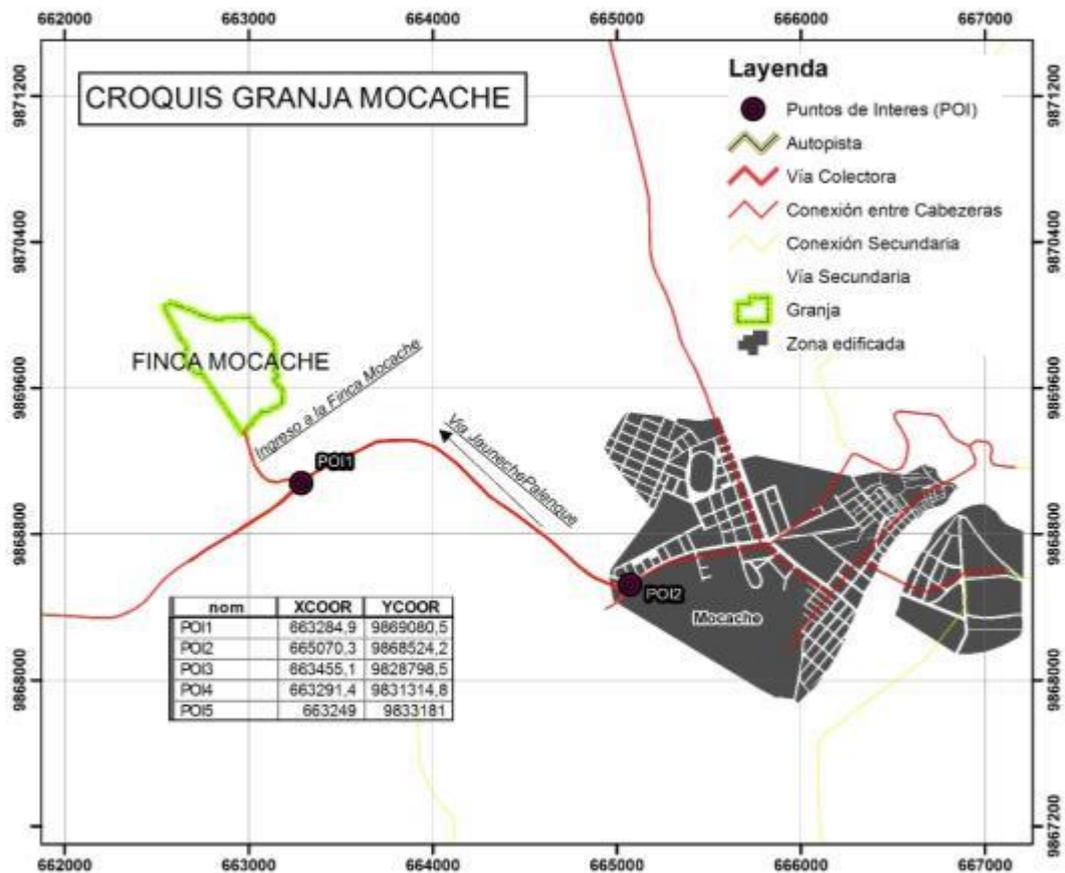
Este estudio se realiza, en el marco del mega proyecto **PACALORI** (Plan de Aprovechamiento y Control del Agua, en la Provincia de Los Ríos), ejecutado por la Universidad de Cuenca a través del PROMAS, cuya área destinada para riego se encuentra ubicada dentro de 6 cantones: Quevedo, Pueblo Viejo, Ventanas, Vinces, Palenque, y Mocache. Además se cuenta con dos granjas experimentales, ubicadas en los cantones Pueblo Viejo y Mocache, pertenecientes a los municipios y colegios agropecuarios; sitios en donde se realizó el trabajo de campo de la presente investigación.

La primera granja experimental se encuentra ubicada en el Cantón y parroquia Mocache. Esta pertenece al municipio, su ubicación es al este de la ciudad, a 2km siguiendo la vía Janiche-Palenque. Una vez en la vía se puede observar a mano derecha una entrada de tierra la cual está representada en el croquis como "POI1" (Figura 16), luego se sigue unos 500 metros en la vía de ingreso a la granja.

Las coordenadas en donde se encuentra la granja son:

Al norte: 9870066m, sur: 9869353m, oeste: 662540m, y este: 663185m. Su uso además de ser agrícola, también es educativo ya que permite a los estudiantes de colegios agropecuarios del sector hacer prácticas en función de las asignaturas profesionalizantes.

Figura 16: Ubicación de la granja Mocache.

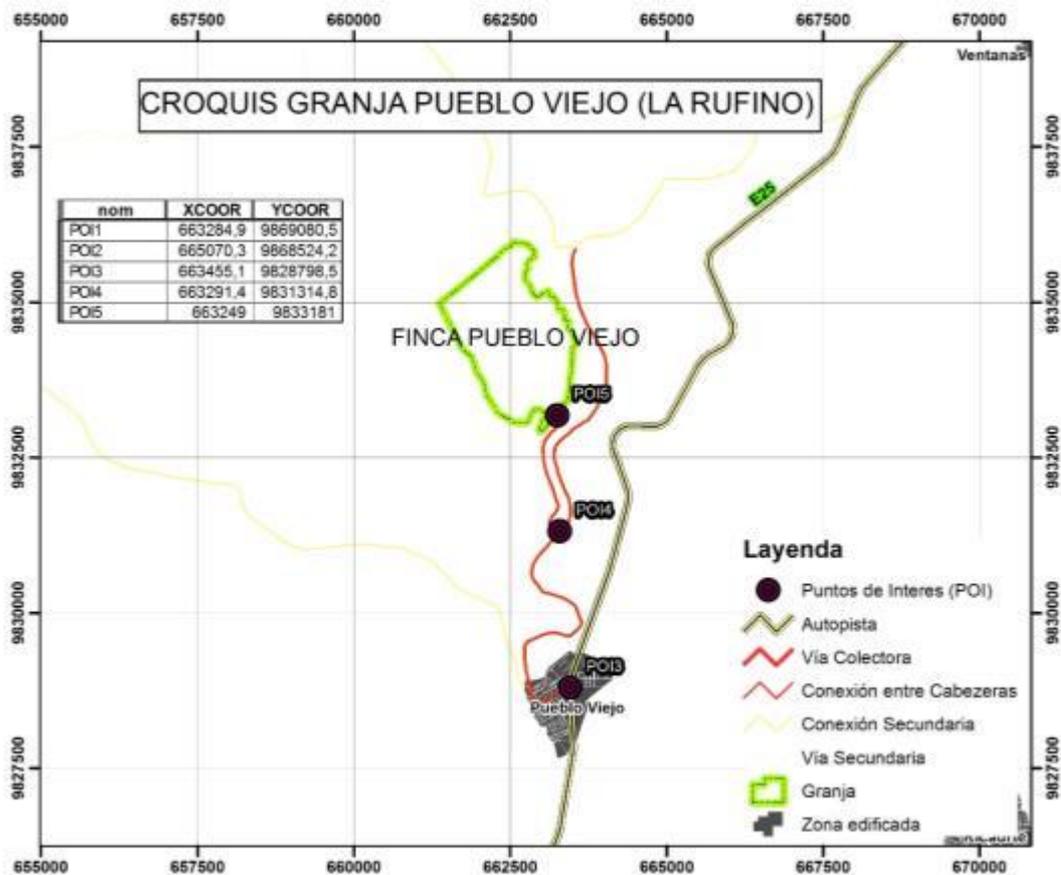


Elaboración: El autor

La segunda granja experimental se localiza en el Cantón y Parroquia Pueblo Viejo, Esta granja pertenece a la Unidad Educativa Pueblo Viejo, se encuentra ubicada al norte de la ciudad, aproximadamente a 4.7 km desde la ciudad por la vía a Puerto Pechiche, hasta llegar al “POI4” (Figura 17), luego se puede encontrar un puente de metal el cual se continua 2.5 km por la vía de tierra hasta ingresar a la Granja.

Las cordenas en las cuales se encuentra comprendia la granja son al norte: 9835968m, sur: 9832911m, este: 663558m, oeste: 661368m.

Figura 17: Ubicación de la granja Pueblo Viejo



Elaboración: El autor

Tabla 2: Resumen de Ubicación de las granjas Pueblo Viejo y Mocache

CUADRO RESUMEN DE UBICACIÓN GRANJA

	País	Provincia	Cantón	Parroquia	Temperatura	Precipitación	N (m)	S (m)	E (m)	O (m)
Granja Mocache	Ecuador	Los Ríos	Mocache	Mocache	16,6-34,2 °C	706-1.122mm anuales	9870066	9869353	663185	662540
Granja Pueblo Viejo	Ecuador	Los Ríos	Pueblo Viejo	Pueblo Viejo			9835968	9832911	663558	661368

Fuente: (PROMAS-Universidad de Cuenca, 2014).

Elaboración: El autor



CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Se pudo recolectar importante información de carácter espectral, con bibliografía reciente, en diferentes idiomas, que están citados en este documento, complementario a este trabajo se pudo ejecutar el sondeo de usuarios de esta tecnología, con lo cual se pudo manifestar que a nivel local no existen usuarios de esta tecnología, sin embargo a nivel nacional se pudo encontrar que el Instituto Nacional Geológico Minero Metalúrgico del Ecuador (INGEMM), dispone de un espectro - radiómetro y se encuentra capturando firmas espectrales de minerales, también pudimos tomar contacto con el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), y acercarnos al programa de “Predicción de Cosechas” que tiene incorporado un componente espectral capturando firmas espectrales en plantas.

A nivel internacional pudimos tomar contacto con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Colombia), en donde se intercambió información y se conoció sus actividades en la elaboración de protocolos de captura para firmas espectrales en vegetación, y en corales, en Venezuela conocimos el Centro Nacional de Teledetección con Fines Agrícolas (CENATEL), con su proyecto de “Sistema de gestión de firmas espectrales agrícolas”.

De la misma manera se conoció el caso en los estados Unidos donde la (USGS) Servicio geólogo de los Estados Unidos, posee un programa llamado “USGS Spectroscopy Lab”, donde han estudiado profundamente el tema espectral, están estudiando y aplicando métodos para la identificación y mapeo de materiales a través de la detección espectroscópica remota (llamada espectroscopia de imagen, las imágenes hiperespectrales, espectrometría de imágenes, imágenes ultraspectral, etc.), en la tierra y en todo el sistema solar usando laboratorio, de campo, espectrómetros en el aire y las naves espaciales, aquí podemos encontrar muchos fundamentos de esta tecnología además de un catálogo de firmas espectrales tanto de minerales como de plantas.



En España pudimos acercarnos al laboratorio de Espectro-radiometría y Teledetección Ambiental del Instituto de Economía, Geografía y Demografía, “SpecLab” del Centro de Ciencias Humanas y Sociales del CSIC, que tiene como objetivo desarrollar investigación básica y aplicada en el campo de la teledetección y más concretamente en el de la espectro-radiometría. Una de las actividades fundamentales del laboratorio consiste en la obtención de medidas espectrales y el desarrollo de protocolos y técnicas de análisis que permitan derivar, por si solos, o en combinación con información procedente de sensores aerotransportados y/o espaciales, parámetros biofísicos e indicadores relevantes en la gestión medioambiental, pudimos recibir de parte de ellos un resumen del ultimo simposio de espectro-radiometría en Europa, el cual daba cuentas del avance de esta ciencia.

Finamente recalco la ayuda que recibimos de parte del Instituto Espacial Ecuatoriano, dentro del marco de cooperación institucional firmado entre la Universidad de Cuenca y el IEE, el cual permitió realizar una pasantía en la ciudad de Quito, en temas de espectro-radiometría, conociendo de cerca el trabajo que se encuentran realizando capturando firmas, permitiéndonos adaptar y proponer un método para nuestra investigación.

4.1.1. Manual de operaciones.

Producto de la recolección de Información bibliográfica, identificación de otras experiencias, revisión de información técnica del equipo, fortalecimiento de conocimientos con el trabajo conjunto en convenio con el Instituto Espacial Ecuatoriano (pasantía), se pudo tener los conocimientos necesarios para elaborar el siguiente manual de procedimiento para la captura de Información espectral en campo.

4.1.1.1. Descripción del espectro radiómetro y sus partes.

El equipo para mediciones espectrales se encuentra conformado por sensores y cables conectores que se detallan en la presente tesis, a pesar de que el equipo esta reforzado para soportar condiciones de exteriores, con lo cables se debe tener mucho cuidado en vista de que cada pieza es de vital importancia



para su funcionamiento porque cualquier alteración o ausencia de los mismos impide realizar la captura.

- **BLACK-Comet BLK-C-SR y DWARF-Star Miniature**

Estos dos sensores, BLACK-Comet BLK-C-SR (color negro) nos permite medir longitudes de onda de 200 a 1080 nm, (nanómetros) y el DWARF-Star Miniature (color rojo), longitudes de onda de 1000 a 1700 nm, ambos sensores comparten características similares de fabricación como son:

- **Coraza protectora**

Los sensores individualmente están sujeto a una estructura protectora que la llamaremos coraza protectora, esta coraza nos permite transporte normal del equipo tanto en actividades de campo como actividades de laboratorio, asegurando su integridad previniendo daños graves contra golpes y daños físicos.

- **Rosca de comunicación**

En la vista frontal de los espectro-radiómetros podemos observar que se encuentra una rosca cubierta con un capuchón negro de protección (SMA-905), esta rosca nos permite la comunicación del sensor con la fibra óptica.

- **Foco tipo LED (verde)**

En la parte delantera encontramos un foco tipo led de color verde, el cual nos indica cuando el sensor está listo para comunicarse con el computador.

- **USB hembra tipo B**

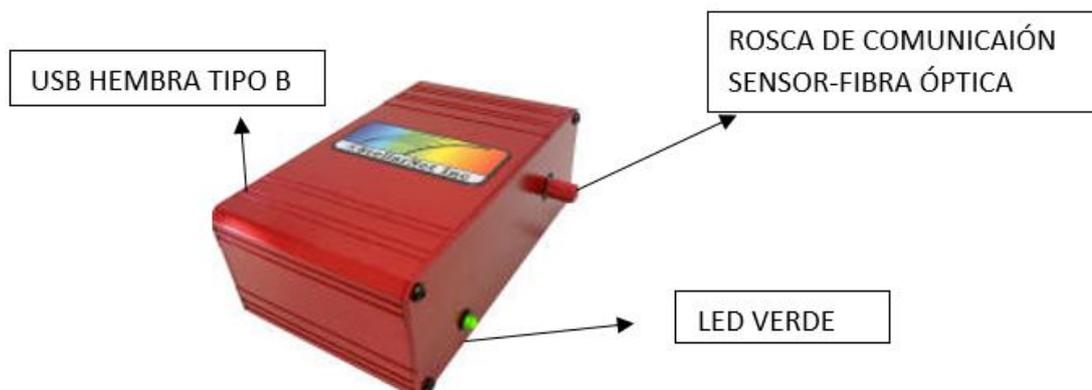
En la parte posterior de los espectro-radiómetros se encuentra una ranura con un puerto USB hembra de tipo B donde conectaremos el cable para comunicar el sensor con el computador.

Figura 18: Sensor BLACK COMET y sus componentes



Fuente: StellarNet

Figura 19: Sensor Dwarf DWARF-Star Miniature



Fuente: StellarNet

- **Fibra Optica F600-Y-UV-SR-NIR**

La fibra optica permite dirigir la luz o la cantidad de energía que reflejan los cuerpos hacia los sensores del espectro-radiómetro, es decir ayuda a dirigir la luz para que traduzca la energía en una respuesta espectral, esta fibra óptica

está construida de tal manera que permita el uso de ambos sensores al mismo tiempo, su forma es de tipo SMA-905 y tiene una longitud de 1 metro.

La fibra viene protegida por un juego de tres pequeños cauchos, tanto los extremos de los dos brazos cortos como el final de la fibra.

Ademas cada brazo de la fibra posee una codifiacion a manera de membrete que permite la identificación de cada barazo con su respectivo sensor.

Figura 20: Fibra Optica



Fuente: StellarNet

- **Cable USB**

El equipo dispone de 2 cables USB que nos permite la comunicación de los sensores con el computador, estos cables se caracterizan por poseer un extremo con USB macho tipo A y el otro extremo con un USB macho tipo B, con una longitud de 2 metros.

Figura 21: Cables USB tipos



Fuente: StellarNet



4.1.1.2. Montaje e Instalación del espectro radiómetro

- **Montaje**

El espectro radiómetro como tal está formado por el sensor, sin embargo los cables son el medio necesario para permitir la comunicación entre el objeto-sensor y luego sensor-computador.

Cabe mencionar que el computador de preferencia portátil se convertirá en la fuente de alimentación de energía para el sensor, por lo que antes del montaje de sus componentes se deber contar con una verificación de la cantidad de batería que lleva el computador, ya que en trabajos de campo no podríamos auxiliarnos de fuentes de energía normales.

- **Paso 1.- Encendido del computador**

El objeto de encender el computador es constatar el nivel de energía contenido en la batería, debiendo prevenir el trabajo a realizarse, ya que en caso de campañas de capturas de información largas deberán tenerse en cuenta la posibilidad de llevar baterías extras para el computador.

- **Paso 2.- Conectar la fibra óptica**

Al observar la fibra óptica, vemos que posee cauchos de protección en cada uno de sus tres extremos, de los cuales deben ser retirados únicamente los correspondientes a los brazos cortos de la fibra, ya que, el final de la fibra aún debe estar protegido.

Deberemos identificar el membrete de los brazos para lo cual el brazo “F600-Y-VIS-SR” se deberá conectar al sensor “BLACK-Comet BLK-C-SR” (color negro) y el brazo “F600-Y-VIS-NIR”, con el sensor DWARF-Star Miniature (color rojo).



○ **Paso 3.- Conectar los cables USB**

Para finalizar el montaje del equipo es necesario conectar los dispositivos USB tipo B macho en los respectivos espacios USB hembras ubicadas en el sensor, tanto en el negro como en el rojo. Dejando únicamente los puertos USB tipo A para conectarlo en el computador.

● **Instalación**

El producto ofertado por la marca comercial StellarNet brinda software para utilizar los espectros radiómetros bajo un entorno de Windows sean estos de 32 o 64 bits, Windows 8, Windows 7, Windows XP, el software que se utiliza por defecto se llama SpectraWiz Spectrometer Software en su última versión v5.3, además es necesario descargar los drivers necesarios que permitan la comunicación del computador con el sensor.

El Software y los drivers deben ser descargados de la página web de StellarNet en el siguiente link de acceso:

www.stellarnet.us/download.htm

Una vez descargado el software y los drivers necesarios, procedemos con la instalación.

○ **Paso 1.- Instalación de SpectraWiz Spectrometer Software v5.3**

En primer lugar ejecutamos el instalador de SpectraWiz de que por lo general lleva el nombre de "SWUpdate-Install.exe", la instalación es inmediata ya que el software es de requerimientos básicos de sistema, una vez instalado el software lo podemos correr en cualquier momento.

○ **Paso 2.- Instalación de Drivers**

Para que exista una comunicación entre el sensor y el computador deben ser instalados los drivers para lo cual en primer lugar debemos conectar los puertos USB en cada uno de los sensores, observaremos que el led de color verde en los sensores no se prenden, (esto solamente sucede por primera vez



cuando se conecta a un nuevo computador), luego el computador intentara buscar los respectivos drives sin embargo terminara en error, por lo que debemos ir al administrador de dispositivos “Device Manager”, ubicado en el panel de control de windows, ahí podremos reconocer los puertos USB ocupados por los espectro-radiómetros, por lo que deberemos dar un clic derecho sobre ellos y direccionar a la ubicación en la cual están los drivers, repetimos el mismo proceso para el segundo sensor, e inmediatamente luego de que se instale cada driver podremos observar que el led verde ubicado en la parte frontal del sensor se enciende por lo que sabremos que la comunicación con el computador es correcta.

Cabe mencionar que todo este proceso de instalación es únicamente por primera vez ya que una vez instalados los drivers las siguientes veces que conectemos los sensores automáticamente se encenderá el led verde indicándonos que estamos listos para operar.

4.1.1.3. Procedimiento para la captura de firmas espectrales

Antes de proceder a explicar el procedimiento para la captura de información espectral es necesario que se describan algunos términos a manera de glosario para este tema en particular:

Referencia al blanco.- Una referencia al blanco significa que en el modo de lectura de Transmitancia/Reflectancia (dentro del software SpectraWIZ), son requeridos estos valores, con la lógica que un blanco de referencia siempre reflejara el 100 de la energía incidente en ese momento, por lo que con diferentes condiciones de luz siempre será necesario que se actualice la referencia al blanco, más o menos vendría a ser la calibración del equipo para las condiciones del momento a la hora de capturar información espectral.

Referencia al negro.- Una referencia al negro junto con la referencia al blanco marca un punto de partida de encendido del equipo, por lo general las variaciones de referencia del negro comparadas con el blanco no son significativas. Para realizar esta función se deberá obstruir toda posibilidad de ingreso de energía al sensor.



Nivel digital.- Conocidos como “ND” en inglés, este término corresponde a las lecturas en bruto del sensor y que transmite al computador, estos valores no tienen una unidad de medida, no representan la firma como tal, sino simplemente corresponden a la señal original que luego será interpretada y traducida por el software para darnos valores de reflectancia, o absorbancia, o cualquier otra opción de medición que necesitemos.

Reflectancia/Transmitancia.- Dentro del software especializado SpectraWIZ, podremos escoger diferentes funcionalidades, sin embargo la que nos interesa son las lecturas de reflectancia, conocidas también como transmitancias.

Estos valores de reflectancia se expresan en porcentaje o en una escala referente a uno, y son el resultado de la relación entre el total de la energía incidente dividido para la energía total reflejada.

Tiempo de integración.- Comparado con una cámara fotográfica, el tiempo de integración correspondería a la apertura del lente para que ingrese la luz al sensor que captura la foto, de igual manera el tiempo de integración es de vital importancia para evitar saturaciones en las lecturas de energía, por lo que a menor tiempo de integración son lecturas más rápidas y transmite inmediatamente la cantidad percibida, sin embargo si existiera un aumento de energía, esto podría ocasionar que el sensor se sature por lo que con tiempos de integración más amplias permitimos que el sensor realice promedios antes de enviar su señal.

La unidad de media del tiempo de integración son milisegundos por lo que se traduce en el periodo de tiempo que le permitimos al equipo hacer promedios de lecturas antes de ser enviadas al computador.

- **Captura de información espectral**

Una vez explicados algunos términos procederemos a explicar cuál es la secuencia de pasos para capturar información espectral, con ayuda del software SpectraWIZ.

Luego de realizar todo el proceso de montaje del equipo deberemos proceder de la siguiente manera.

○ **Paso 1.- Comprobar conexión.**

Una vez conectados los espectro-radiómetros al computador deberemos comprobar que los leds verdes se hayan encendido correctamente.

Luego se inicia el programa previamente instalado SpectraWiz, cuando realizamos esta acción por primera vez deberemos observar una ventana emergente que nos indicara que se han detectado dos puertos USB y que se han generado dos rutas de acceso, caso contrario si no se observa dicho mensaje es probable q existe algún error de comunicación.

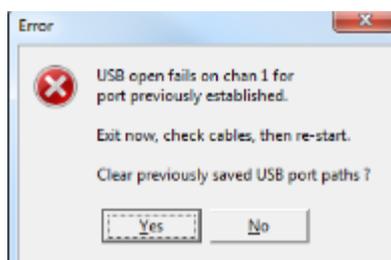
Figura 22: Ventana emergente



Fuente: Software SpectraWiz Spectrometer SOv5.3.

Es necesario mencionar que el software guarda una ruta específica para cada puerto USB en relación al radiómetro, por lo que en caso de que en una siguiente ocasión, no se conectan los espectro-radiómetros en los mismos puertos, generaran errores e incoherencias en las lecturas.

Figura 23: Error producido cuando los puertos USB no coinciden con rutas anterior mente creadas.

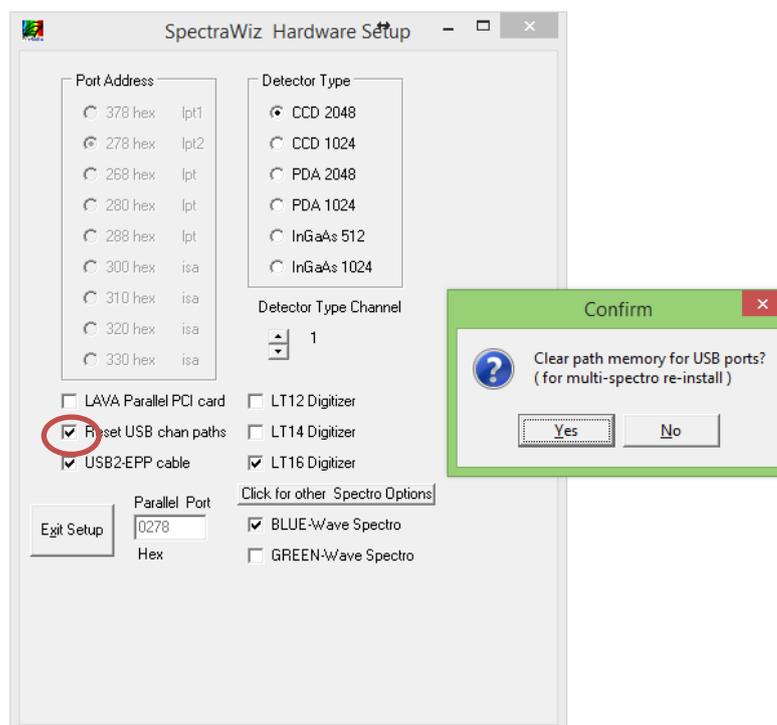


Fuente: Software SpectraWiz Spectrometer SOv5.3

En caso de que suceda este error se deberá cerrar el programa, desconectar los cables USB, e ingresar al software, esta vez nos dirigimos a la pestaña “Setup” y luego la opción “Interface port and detector”, ahí una vez más se desplegará una ventana emergente donde nos permite resetear las rutas de los puertos, por lo que deberemos tildar la opción “Reset USB chan Paths”, siguiendo el proceso se nos brindará la opción de confirmar el reseteo de las rutas a lo cual aceptamos pulsando “YES”.

Hay que considerar que para que las configuraciones tengan efecto se deberá cerrar el programa nuevamente. Concluyendo este punto deberemos conectar los puertos USB, constatar que los leds verdes estén encendidos e iniciar el programa SpectraWiz.

Figura 24:Reseteo de rutas de acceso para puertos USB



Fuente: Software SpectraWiz Spectrometer SOv5.3

○ Paso 2.-Configuración para la toma de datos

Dentro de todas las opciones que nos brinda SpectraWiz, detallamos a continuación únicamente las que usaremos para capturar respuestas espectrales en vegetación.

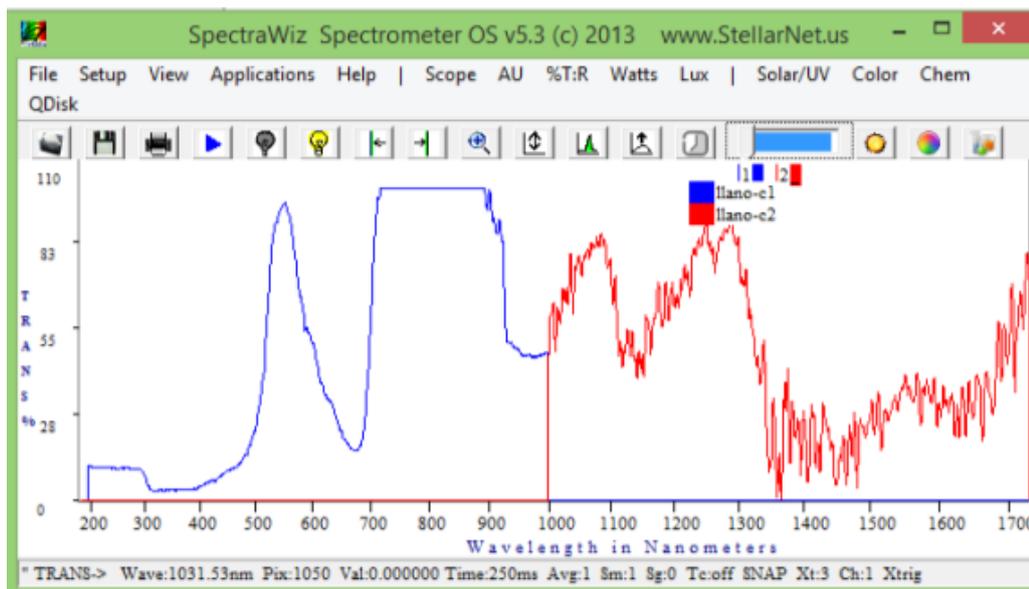
Tabla 3: Principales opciones del software SpectraWiz.

	Botón de Abrir archivos, nos permite buscar dentro de un árbol de carpetas, archivos con información espectral.
	Botón Guardar
	Botón Imprimir
	El botón Snapshot, nos captura una imagen instantánea que se esté visualizando, para liberar el snapshot, damos clic en “run”.
	Este botón tiene una función extra ya que nos permite hacer capturas de pantalla.
	El botón guardar espectro negro nos permite realizar la calibración al negro para capturas de reflectancia. Al dar un clic izquierdo calibramos al negro y al dar un clic derecho liberamos el negro, para continuar con la calibración.
	Los botones de movimiento de datos nos permiten colocar una línea a lo largo de las mediciones y nos permiten leer valores de reflectancia en sitios específicos.
	El botón de zoom nos permite ajustar la vista
	El botón de auto escala nos permite ajustar la escala automáticamente a las lecturas, para su mejor visualización
	Los botones para la Integración de tiempo, permiten ajustar los valores en milisegundos acorde a las condiciones de capturas de información, ayudándonos a evitar saturaciones del sensor.
	Las opciones de medición solar, color, y métodos químicos, son utilidades adicionales para el espectro radiómetro.

Fuente: Software SpectraWiz Spectrometer SOv5.3

Todas las opciones mostradas en la Tabla 3: Principales opciones del software SpectraWiz. Tabla 3, se encuentran disponibles a la fácil visualización en el entorno del software.

Figura 25: Captura de pantalla del software SpectraWiz Spectrometer v5.3.



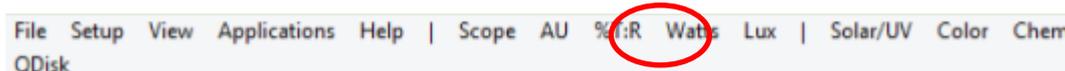
Fuente: Software SpectraWiz Spectrometer SOv5.3

Con el fin de capturar datos deberemos previamente realizar el montaje del equipo para lo cual seguimos todos los pasos mencionados anteriormente, luego de tener iniciado el programa deberemos observar dos líneas, una de color azul y otra de color rojo la línea de color azul corresponden al sensor BLACK-COMET, y la línea roja corresponde al sensor Dwarf-star.

○ Paso 3.- Opción de Reflectancia

Debemos escoger la opción propia de medidas de reflectancia, esta opción la podemos encontrar en la barra de menús con el nombre "%T:R".

Figura 26: Barra de menús



Fuente: Software SpectraWiz Spectrometer SOv5.3.

○ Paso 4.- Configuración de la toma de muestra

Luego de escoger la opción para medidas de reflectancia "%T:R", deberemos proceder con la configuración de la toma de muestra, por lo que ajustamos el tiempo de integración, y el número de promedios de la toma según las recomendaciones dadas por StellarNet.

Tabla 4: Recomendaciones de StellarNet para ajustar el tiempo de integración con relación al número de promedios.

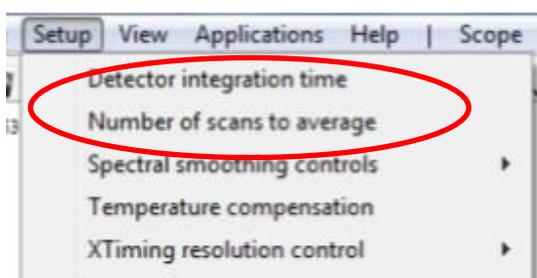
Recommendations	
Integration Time	Sample Average
1-100ms	10
100-500ms	5
500+ms	3

Fuente: StellarNET

O en su defecto hasta familiarizarse con la toma de datos se recomienda ajustar un tiempo de integración de 50ms y 5 promedios, además que en caso de que se llegue a saturar se deberá aumentar el tiempo.

Para ajustar estas características debemos dirigirnos a la barra de menús opción “Setup”, e inmediatamente podremos observar las opciones de “Detector integration time” y “Number of scans to average”, en ambos casos deberemos seguir las instrucciones consiguientes.

Figura 27: Opciones de tiempo de Integración y número de escaneos para promedio.



Fuente: Software SpectraWiz Spectrometer SOv5.3

Cabe mencionar que luego de que se ejecuten cambios en la programación para la captura de información siempre deberá realizarse referencias a negro y a blanco, proceso que describiremos a continuación.

○ **Paso 5.- Referencia al negro y al blanco.**

Para calibrar el equipo a las condiciones de luminosidad del momento se deben realizar las referencias al negro y al blanco.

La referencia al negro consiste en una encerrada del sistema para evitar ruidos adicionales, esta referencia se la realiza luego de obstruir la entrada de luz a la



fibra, para esto se dispone de los cauchos de protección de fibra que resultan convenientes en este proceso, para esto presionamos con clic izquierdo en el botón con el bombillo  negro, a continuación deberemos presionar el mismo botón con la diferencia de tener cuidado de presionar el botón derecho del ratón, lo cual permite la liberación del espectro.

Luego de este proceso procedemos a realizar la segunda calibración, la cual corresponde a la referencia al blanco, para esto deberemos usar la bombilla de color  amarilla, para la toma de esta referencia se debe liberar el caucho de protección y ubicar una referencia de blanco, lo ideal debería ser poseer un blanco de referencia, sin embargo para fines funcionales se puede usar hojas de papel bond completamente blancas.

La forma de capturar la referencia al blanco consiste en que deberemos exponer la hoja de papel bond al sol y con el debido cuidado de no proyectar sombra, procedemos a apuntar con el extremo de la fibra, es en esta situación que se deberá presionar el botón con la bombilla amarilla y finalmente quedara listo el sistema para recolectar información espectral.

No hay que olvidar lo que capturamos es información espectral y que para obtener la firma espectral como tal es necesario que esta información sea sometida a un post proceso en una hoja de cálculo, por lo que como insumos para la hoja de cálculo necesitamos tener capturada la referencia al blanco y al negro.

Figura 28: Captura del blanco de referencia.

Fuente y Elaboración: El autor.

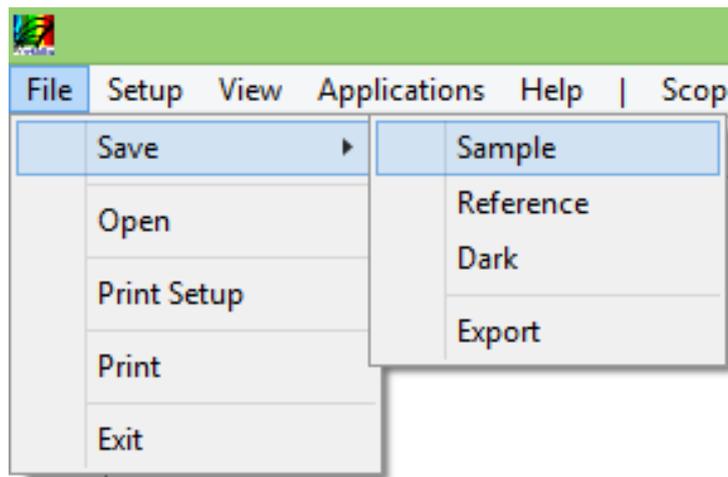
Para guardar una captura espectral deberemos dirigirnos a la barra de menús en la opción “File”, luego escogemos la opción “Save”, consecuentemente “Sample”, y se abrirá una ventana de exploración direccionada por defecto a C:\Program Files\Stellarnet\SpectraWiz, en donde sugerimos crear una carpeta para cada campaña espectral, codificada de manera que nos resulte fácil nombrarla e identificarla.

Es importante obstruir la fibra con el tapón de caucho y capturar la referencia al negro como una muestra, luego destapamos la fibra y apuntamos a la hoja de papel blanco, con el cuidado de que no se produzca sombra y capturamos la referencia al blanco, luego procedemos a capturar la muestra del objeto del cual se quiere capturar información espectral.

Repetimos esta actividad por el total de sub-muestras y muestras capturadas, considerando que si las condiciones de luz cambian drásticamente se tendrá que realizar nuevamente las calibraciones al blanco y al negro.

Es importante mencionar que al ser dos sensores los que están en juego, la información que guardemos estará compuesta por dos archivos “-c1” que corresponde al primer sensor y “-c2” al segundo sensor.

Figura 29: Captura de información espectral indicando su almacenamiento en el computador.



Fuente: Software SpectraWiz Spectrometer SOv5.3.

4.1.2. Proceso de validación en campo

4.1.2.1. Descripción de los objetos a ser muestreados.

Una vez conocida la forma de como capturar datos espectrales con el espectroradiómetro de marca StellarNet, se nos presenta difícil capturar información espectral de coberturas espectrales de alturas considerables, además de coberturas con difícil acceso como puede ser esteros o lagunas, por lo que para la demostración de esta metodología se buscó en las granjas coberturas de suelo con poca altura es decir que no superen 1,80 metros, y se diseñó una metodología propia para estas coberturas.

4.1.2.2. Métodos para el levantamiento de información espectral

Para la correcta utilización del espectro radiómetro es necesario contar una metodología que nos guíe en campo para capturar información espectral.

Por lo tanto que en base a las capacidades y limitaciones de nuestro equipo se procedió a proponer y elaborar una metodología que permita la captura de información espectral para coberturas de suelo inferiores a 1.80, sin embargo con pequeñas adaptaciones, se puede considerar otro tipo de coberturas de suelo.



Una vez conocido cual es el procedimiento para la captura de información solo nos queda enfocarnos en el estudio del área a muestrearse y en la forma de capturar la información.

Para obtener una firma espectral de una cobertura de suelo que represente un área determinada, en base a las experiencias recolectadas, aprendidas y realizadas proponemos se realice la siguiente metodología con el fin de determinar una área a ser muestreada.

Es necesario diferenciar los pasos secuenciales tanto para el campo como para la oficina, para obtener estos pasos secuenciales se realizaron algunas actividades en campo, apoyadas en la disponibilidad de acceso a dos granjas experimentales ubicadas una en Pueblo Viejo y otra en Mocache.

- **Primer paso (campo).- Delimitación de áreas.**

Como primer paso procedimos a la identificación de las granjas de las cuales se recopiló información existente, como linderos, orto-fotos, accesos viales y usos que se han estado dando a las granjas, se realizó una primera visita en el caso de la granja de Pueblo Viejo se solicitó el permiso de acceso a la unidad educativa Pueblo Viejo y en segundo caso al municipio de Mocache, quienes también contribuyeron con lo solicitado.

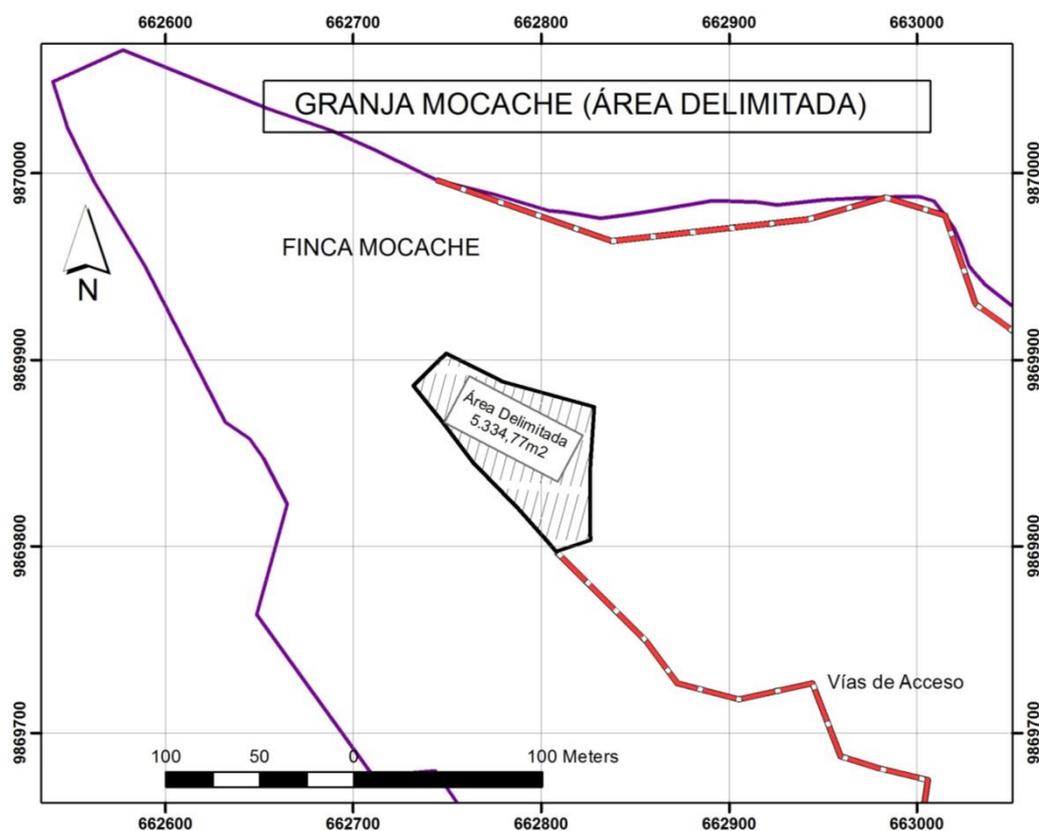
Luego de obtener toda la información correspondiente a las granjas se procedió a visitarlas con el fin de identificar y delimitar zonas a muestrearse.

En el primer caso la finca de Mocache, se pudo observar que la mayor parte de la finca se encuentra cubierta por maíz, otra parte por árboles forestales, en las partes bajas se pudo observar pozas en las que se cultiva tilapia y finalmente encontramos una área que fue desmontada, y se encuentra sembrada sandía (*Citrullus lanatus*), de un mes de edad que por su naturaleza de carácter herbáceo, fue ideal para la captura de información.

Se delimitó la parcela de sandía sembrada mediante el uso de DGPS que permitan corrección diferencial, obteniendo así precisión en post-proceso de dicho levantamientos con lo cual al momento de post-procesar la información

DGPS pudimos saber que el área a muestrearse abarca 5.344,77 metros cuadrados.

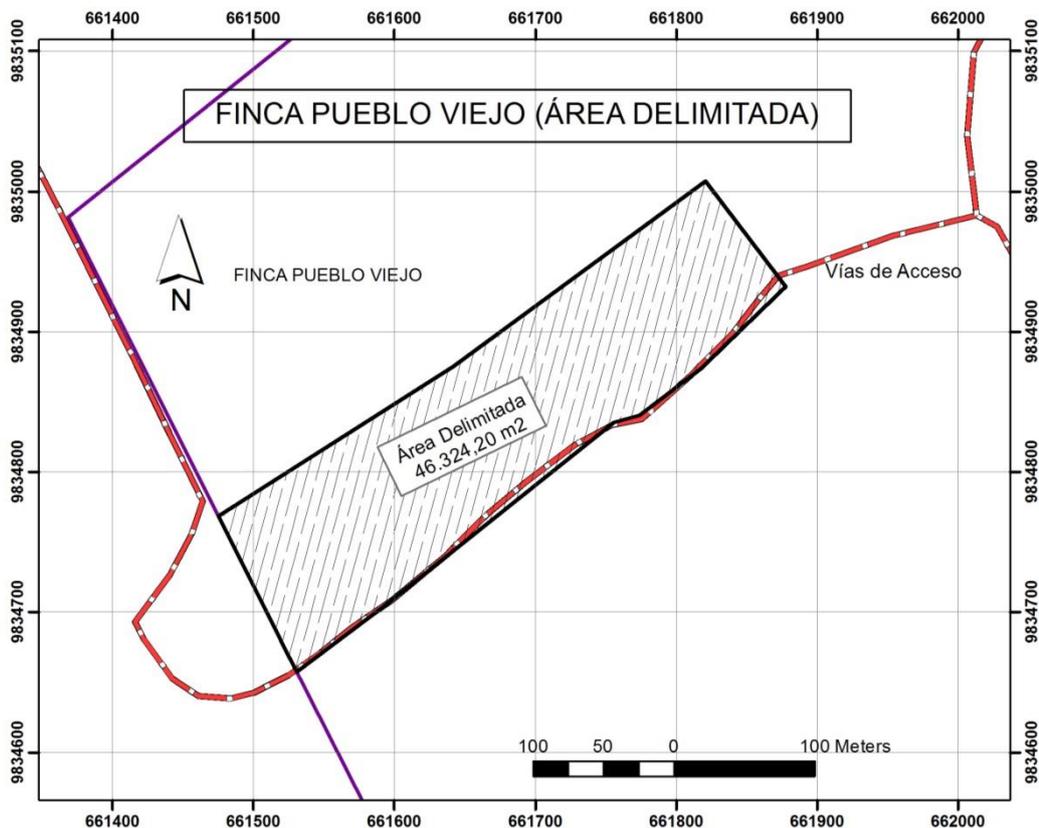
Figura 30: Delimitación de área a muestrearse en la granja de Mocache.



Fuente: El autor.

De la misma manera se realizó la inspección de la finca Pueblo Viejo en donde se pudo constatar que la granja la mitad del terreno se encuentra ocupado por bajos es decir áreas anegadas, y las partes altas dedicadas a maíz, y pasto (*Brachiaria sp.*), en esta ocasión se utilizó esta especie por lo que también se procedió a realizar el levantamiento con DGPS del área a ser muestreada, obteniéndose un área de 46.324,20 metros cuadrados, los cuales se intentará representar mediante una firma espectral.

Figura 31: Delimitación de área a muestrearse en la granja de Pueblo Viejo.



Fuente: El autor

Tabla 5: Cuadro resumen producto del levantamiento de áreas a ser muestreadas.

ÁREAS DELIMITADAS A SER MUESTREADAS	m ²
Mocache	5.344,77
Pueblo Viejo	46,324.20

Elaboración: El autor

Con los valores de superficie obtenidos, intentaremos obtener como resultado dos firmas espectrales que representen las áreas delimitadas en las granjas.



○ **Segundo paso (Oficina).-Cálculo de la población y determinación del tamaño muestral.**

Sabiendo de la tecnología con la que contamos, ésta no nos permitirá capturar información de toda un área, asumimos que es importante la toma de muestras que nos permitan representar una población; en esa lógica de poder decidir un número de muestras nos auxiliaremos en la fórmula típica para el cálculo de la muestra finita (Figura 32), de donde:

N = Tamaño de la población

p = probabilidad de que un evento suceda.

q = probabilidad de que el evento no suceda.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que. Si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1.96 (como más usual) o en relación al 99% de confianza equivale 2,58, valor que queda a criterio del investigador.

E = Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía. Valor que queda a criterio del encuestador. (Levin & Rubin, 2004)

Figura 32: Formula para el calculo de muestras finitas.

$$n = \frac{Z^2 pq N}{NE^2 + Z^2 pq}$$

Fuente: (Levin & Rubin, 2004)

Como indica la fórmula para conocer el tamaño de una muestra “n”, necesitamos conocer “N” que corresponde al tamaño de la población, que gracias al levantamiento planimétrico de las áreas a ser muestreadas obtenidas previamente, podemos considerar que nuestras áreas corresponden a nuestra población.



Sin embargo al momento de definir cuál es la unidad de nuestra población sugerimos considerar la resolución espacial del satélite LANDSAT, que como menciona Fernandez-Copel & Herrero Llorente, (2001) el satélite LANDSAT es uno de los satélites más empleados en aplicaciones de Teledetección, este sensor es el más empleado en aplicaciones agrícolas, forestales, usos del suelo, hidrología, recursos costeros y monitorización medioambiental. Sobre todo está ligado a estudios territoriales en los que el parámetro fundamental es el medio ambiente.

Además otra característica que se relaciona con nuestro experimento es que LANDSAT captura imágenes multiespectrales con una resolución radiométrica de 8 bandas.

Es por tanto que acorde a la resolución Espacial comparada con nuestras áreas obtenidas podemos conocer el tamaño de nuestra población como indica la Tabla 6.

Tabla 6: Cálculo de la población.

Granja	Área delimitada en m ²	Resolución espacial LANDSAT (m)	Resolución espacial LANDSAT (m ²)	Población
Mocache	5.344,77			5
Pueblo Viejo	46.324,20	30	900	51

Elaboración: El autor.

Con respecto al valor asignado al error muestral consideramos que en base a la homogeneidad del terreno y de la misma manera homogeneidad de las áreas delimitadas ajustamos un valor de 0.25, equivalente al 25% de error que por decirlo así obtendremos un 75% aceptable de fiabilidad en las muestras.

Con estos valores procedemos a hacer los cálculos respectivos aplicando la fórmula y obtendremos que para la granja de Mocache con un área de 5.344 m² necesitamos recopilar un total de 4 muestras, por otro lado para la granja de Pueblo Viejo con una área delimitada de 46.324m² necesitamos recopilar un total de 12 muestras.

Figura 33: Cálculo de la muestra apoyados en una hoja de cálculo.

	A	B	C	D	E	F
1				VARIABLE	VALOR	Z²
2				Z	1.96	3.84
3	$n = \frac{Z^2 pq N}{NE^2 + Z^2 pq}$			p	0.5	
4				q	0.5	
5				E	0.25	0.0625
6						
7						
8	Granja	Población	Dividendo	Divisor	Tamaño de la Muestra	
9	Mocache	5	4.802	1.2729	4	
10	PuebloViejo	51	48.9804	4.1479	12	
11						

Elaboración: El autor.

○ **Tercer paso (Oficina).- Distribución de la muestras**

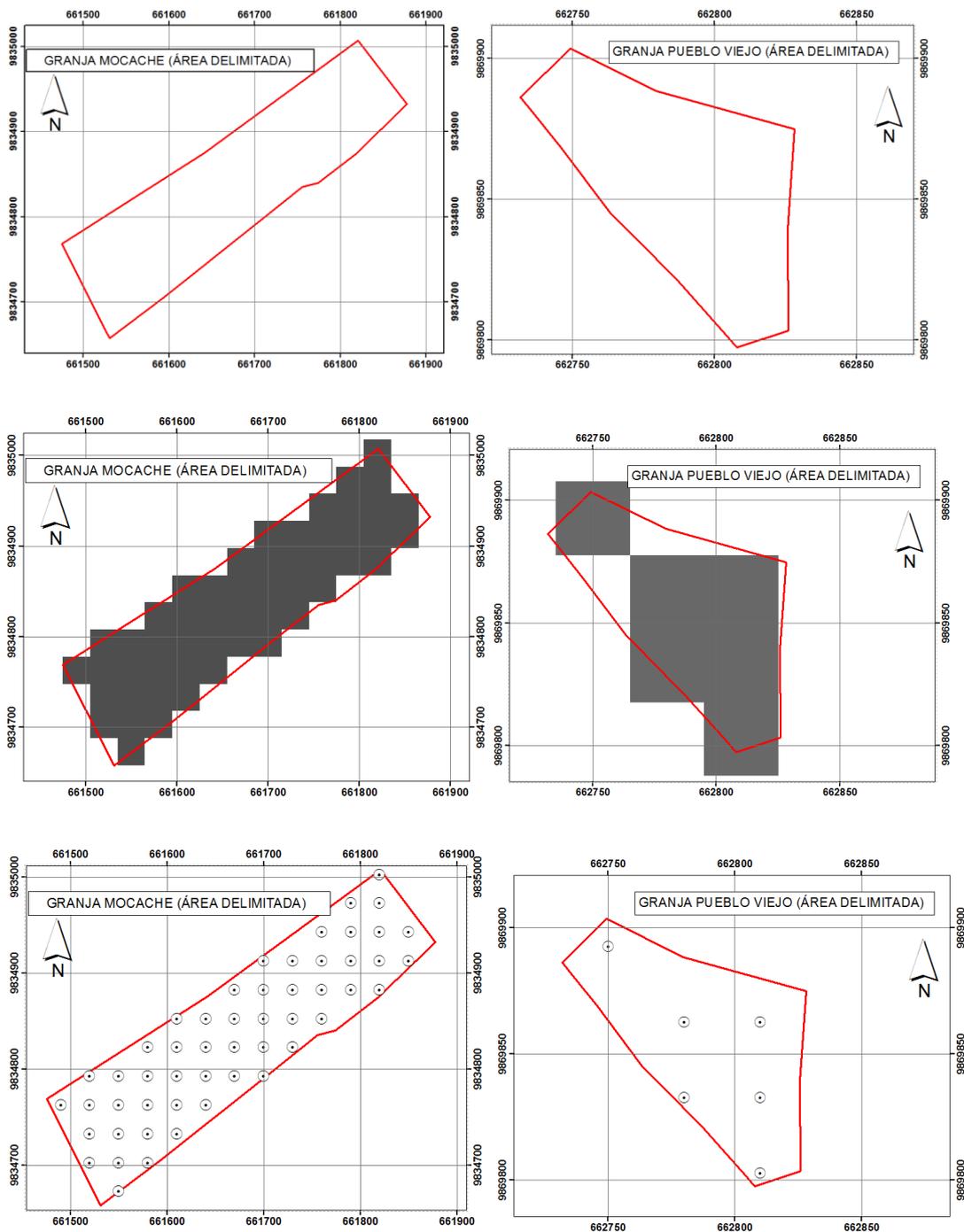
Una vez calculado el tamaño de la muestra deberemos tratar de distribuirla a lo largo y ancho del área ya delimitada, por lo que proponemos realizar el siguiente proceso auxiliados en un sistema información geográfica, de manera que permita ubicar espacialmente las muestras.

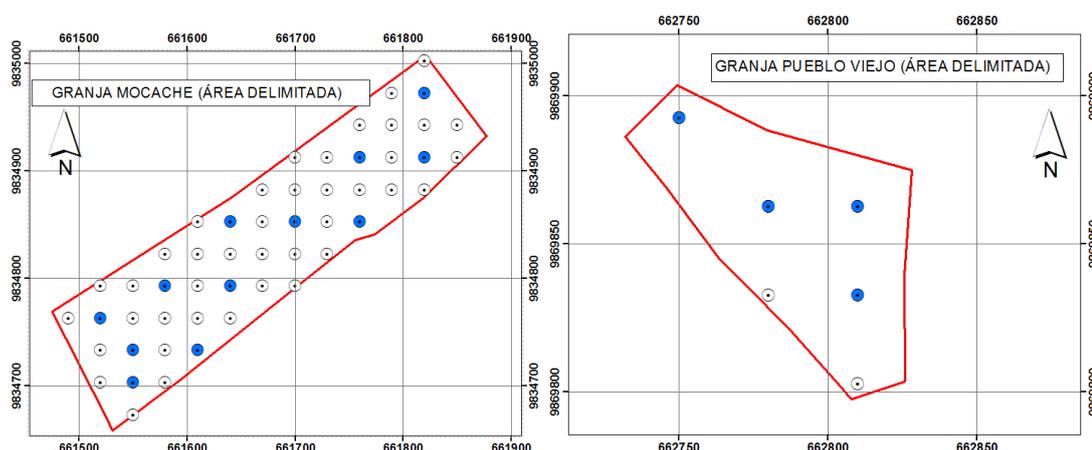
Es así que como insumos se necesita, el área delimitada, la resolución espacial LANDSAT, y el tamaño muestral, sistemáticamente contamos con el área medida para cada granja, contamos también con el valor de 30m de resolución, y el valor anteriormente calculado.

Con todos los insumos mencionados anteriormente nos auxiliamos de un entorno SIG, en donde aplicaremos un geo-proceso con la característica que permita la conversión del área delimitada de polígono a una capa raster, con la propiedad de que el tamaño de pixel de la capa raster de salida sea de 30, consiguiendo así una distribución especial de nuestra población.

Luego el siguiente geo-proceso es la conversión del raster a capa vector, en especial a capa de puntos, es ahí cuando podemos notar una distribución de sitios a ser muestreado más o menos homogéneo, que nos permite visualizar los sitios posibles a ser muestreados.

Figura 34: Proceso secuencial para la distribución espacial de los sitios a muestrear





Elaboración: El autor.

Luego de estos procesos con la visualización en pantalla procedemos a distribuir el número de muestras calculadas a lo largo de todo el predio, considerando dejar de lado caminos y cercas, por el mismo hecho debe considerarse un efecto de borde por lo que no se deberá escoger muestras cercanas a esquinas, tomando en cuenta los criterios anteriores, procedemos a escoger una muestra aleatoria simple de tamaño N , que como menciona Anderson, Sweeney, & Williams, (2008), “Una muestra aleatoria simple de tamaño n de una población finita de tamaño N es una muestra seleccionada de manera que cada posible muestra de tamaño n tenga la misma probabilidad de ser seleccionada”, acorde a la definición citada, escogemos en pantalla de una manera sistémica en forma de zigzag, nuestros sitios a ser muestreados (Figura 34). Permittiéndonos de esta manera auxiliarnos en campo para saber específicamente donde tomar la muestra.

Cuarto paso (campo).- Método para recolección de datos

Luego de recolectar y realizar los cálculos de todos los datos necesarios para el trabajo de campo, solo nos queda conocer la manera de recolectar los datos, es por eso que previamente se realizó el cálculo de la huella que proyecta la fibra de vidrio (FOV), para esto consideramos que el ángulo de la fibra es de 25° y a una altura de 1.20m proyecta en el piso una huella de 0.50 centímetros.

Cabe mencionar que se programó en el software con un tiempo de integración de 100ms y un promedio de 5 lecturas, consiguiendo tiempos de respuesta en pantalla cada medio segundo como muestra el anexo 7.1.

Y finalmente se propone hacer el siguiente proceso para capturar una muestra:

En primer lugar consideraremos que una muestra abarca 9 m² y está compuesta de 6 sub-muestras que abarca 1,5 m² cada una, teniendo así que recorriendo 18 m en línea recta con una huella en piso de 0.5 m, para obtener 9 m².

De la misma manera para la sub-muestra tendremos que recorrer 3 m, en línea recta con una huella en piso de 0.5m, y obtendremos 1,5m².

En cuestión de tiempos, hemos calculado que cada 0.5 segundos el programa muestra respuesta en pantalla, y según el procedimiento propuesto cada 3 metros deberemos guardar una sub-muestra en aproximadamente 4 segundos, siendo en total alrededor de 24 segundos los que nos deberemos demorar en recorrer los 18 metros.

Figura 35:Proceso de captura de información en campo.



Fuente y Elaboración: El autor.



○ **Quinto paso.-Guardado y etiquetado de información**

Como se mencionó anteriormente cada muestra, estará conformada por 6 sub-muestras, y cada sub-muestra deberá ser tomada a lo largo de 3 metros en línea recta y en un lapso de 4 segundos.

Para lo cual en el software deberemos tener creadas las carpetas necesarias en la ubicación por defecto ubicada en C:\Program Files\StellarNet\SpectraWizpara, para almacenar, aquí sugerimos que se cree una primera carpeta con el nombre codificado de la sesión de campaña por ejemplo para nuestro estudio codificamos a las granjas con “GM” para la granja Mocache y “PUV” para la granja Pueblo Viejo, al interior de esta nueva carpeta creamos carpetas con un número igual al calculado para el número de muestras, en secuencia numérica consecutiva, para que finalmente sean almacenadas al interior de cada carpeta 6 sub-muestras, además de una referencia de blanco y negro de ser necesario para cada una.

4.1.2.3. Post-proceso de firmas espectrales (oficina)

Ya que el equipo captura respuestas espectrales y a nosotros nos interesan valores de reflectancia, todos los valores capturados necesitan ser procesados, para lo cual nos ayudaremos de una hoja de Excel que nos permita realizar algunos cálculos.

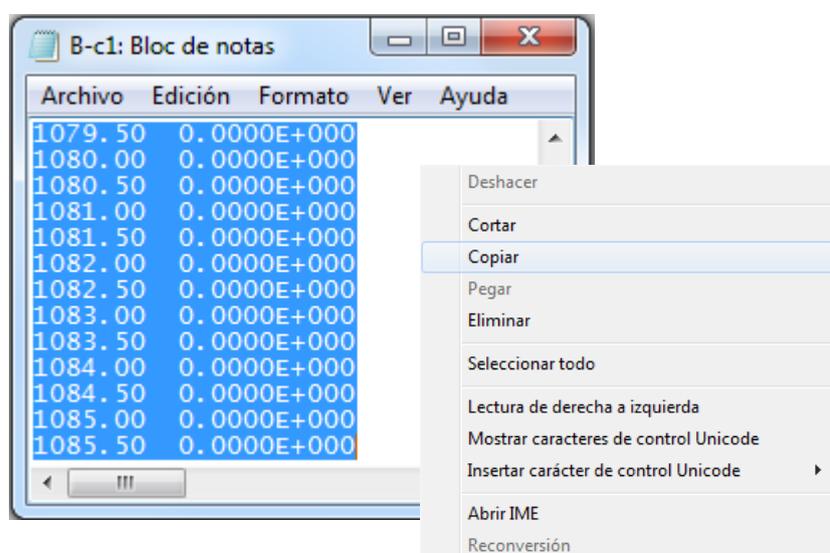
Para esto se realizó la configuración de la hoja de tal manera que permita introducir los valores de referencia al blanco, al negro y la sub-muestra para tener como resultado un gráfico que nos indique la firma espectral.

Todo esto lo podemos realizar gracias a que el formato de archivo en que SpectraWiz guarda los archivos (.TRM), se lo puede abrir y visualizar en una “blog de notas”, o cualquier lector de texto, permitiendo fácilmente la importación de estos valores en las hojas de cálculo.

Cabe recalcar que la importación de los datos se la debe hacer, seleccionando todos los datos dentro del “blog de notas” y copiar, para luego pegarlo en la hoja de cálculo mediante el “Asistente para importar texto”, de tal manera que

se peguen dos columnas perfectamente delimitadas, para complementar la información de los dos sensores tendremos que realizar este proceso con los dos archivos correspondiente a cada sensor (-c1 y -c2), el pegado se lo realiza en un archivo a continuación del otro en la hoja de cálculo, y cuando los dos estén pegados procuramos que todos los valores estén expresados en notación numérica normal y no notación científica que es como se guardan los datos por defecto, finalmente para concluir este paso deberemos ordenar la primera columna correspondiente a los nanómetros en orden ascendente es decir de menor a mayor.

Figura 36: Copiado de valores para ser importados en la hoja de cálculo.



Elaboración: El autor.

El post-proceso como tal consiste en la aplicación de unos sencillos cálculos y el ordenado de la información de tal manera que nos permita organizarnos, es así que, como se puede ver en la Figura 37, se crearon 5 hojas dentro de un documento de las cuales la primera corresponde a la referencia al blanco nombrada en este caso "Ref", aquí es en donde deberemos importar la referencia al blanco capturada que corresponda a determinadas muestras ya que la referencia cambiará de acuerdo a las condiciones de incidencia solar al momento de la recolección en campo.

Figura 37: Pestañas correspondiente a las hojas de cálculo creadas.



Elaboración: El autor.

De igual manera en la pestaña “dark” deberemos colocar la información correspondiente a las referencias al negro capturadas, por lo general siempre por cada referencia al blanco existe una referencia al negro sin embargo puede darse el caso que lo único que cambia de sub-muestra a sub-muestra es la referencia al blanco.

La pestaña “sample” está destinada a ser el sitio donde se importe los datos correspondientes a la representación del objeto a ser muestreado. Y finalmente la pestaña “Post-pro” corresponde a la hoja en la que se conjugan todos los insumos para construir la gráfica de reflectancia y se aplica la construcción de la reflectancia mediante la fórmula $((\text{sample-Dark})/\text{ref})$, con lo que nos permitirá visualizar primero gráficos por separado de los valores ingresados además del resultado.

Figura 38: Hoja de cálculo en la pestaña “Post-pro”





Elaboración:-El autor.

El resultado de todo este proceso se expresa en la última pestaña nombrada "Firma espectral", en donde se muestra únicamente los valores y la gráfica de los resultados, permitiéndonos copiar o exportar los valores obtenidos como resultado.

4.1.2.4. Almacenamiento de Firmas Espectrales.

Como se mencionó anteriormente los datos capturados presentan sub-muestras parciales, por lo que después del post-proceso realizado a todos los valores de las sub-muestras, se deberá promediar todos los valores para obtener un único resultado que será nuestra firma espectral, es por tanto que para el almacenado de dicho resultado proponemos el uso de un metadato.

- **Metadato Espectral**

Los metadatos forman parte primordial en temas de adquisición de información, en especial información de campo, esta información nos permite generar una base de datos que catalogue la información proveniente de instrumentos que dependen de muchas condiciones para tomar una muestra, como es el caso de los espectro-radiómetros.

Pero, ¿Por qué necesitamos metadatos para las firmas espectrales?, simplemente nos hacemos a la idea de que cuando se captura firmas espectrales se realiza campañas en campo en la que se captura la reflectancia espectral de diferentes objetos (materiales, plantas, suelo, etc.), y por la naturaleza heterogénea de las variables que influyen en la captura de dichas firmas es necesario contar con información auxiliar que nos permita conocer información con datos tales como: en donde fue tomada, a qué hora, condiciones climáticas, y cualquier información que requiera ser observada para el correcto entendimiento, y no solo ese instante sino para que cualquier técnico pueda hacerse a la idea de dichas condiciones.

Es por eso que para nuestra investigación hemos diseñado una ficha en la cual podremos guardar información que nos permita entender bajo que condiciones



fue tomada nuestra firmas, a continuación detallamos más partes que consta en nuestra ficha.

En el campo 1.1 se debe colocar el modelo del espectro radiómetro con el cual se ha levantado la firma espectral, en el campo 1.2 se debe colocar el nombre del técnico responsable de la operación en campo, en el 1.3 se debe colocar la fecha a la cual se captura la firma, en el 1.4 es importante incluir la hora a la que se captura la firma ya que esta observación nos dará la idea de la posición del sol, en el campo 1.5 se debe especificar que objeto se muestrea sea este vegetal o mineral, en el campo 1.6 se permite describir características tales como observaciones del objeto muestreado así sea su estado fenológico de ser posible, altura a al cual fue muestreado el objeto y cualquier observación adicional que pueda ser expresada, en el campo 1.7 y 1.8 refiere a la codificación con las que se almacenarán nuestras firmas es decir sugerimos que para la campaña de captura se genere un código de identificación y se complemente con el número de muestra o firma capturada.

En 2.1 deberemos colocar un par de coordenadas que nos permitan ubicarnos geográficamente, (actualmente usaremos coordenadas proyectadas, con datum UTM WGS84), lo cual podemos obtener con un receptor de señal GPS fácilmente, además en el punto 2.1 se requiere colocar una altitud que nos ayudara a hacer referencia del lugar al igual que las coordenadas.

En los campos 3.1 y 3.2 se permite colocar imágenes primero del objeto a ser muestreado y luego del objeto en la fase de muestreo, este último en especial nos permitirá observar la forma o método con el cual fue capturada la firma espectral.

En los campos correspondientes al numeral 4, tenemos dos opciones de ser posible, el primero deberemos buscar una estación meteorológica cercana y colocar los datos que nos brinde dicha estación, caso contrario se deberá recolectar información en base al conocimiento experto. Entre la información requerida tenemos, 4.1 temperatura en °C, 4.2 Humedad, 4.3 Nubosidad presente, 4.4 Radiación Solar, 4.5 Heliofanía.

Figura 39 : Metadato



METADATO ESPECTRAL



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACION ESPECTRAL	
1.1 Espectro Radiometro	
1.2 Operador	
1.3 Fecha de Muestreo	
1.4 Hora	
1.5 Objeto Muestreado	
1.6 Descripción

2.1 Ubucación	CoorX	CoorY	Altitud

3.1 FOTO	1.7 Campaña Codigo	3.2 FOTO 2
	1.8 Firma N°	

Condiciones Meteorológicas	Estacion mas cercana	Obsevación en campo
4.1 Temperatura		
4.2 Humedad		
4.3 Nubosidad		
4.4 Radiación Solar		
4.5 Heliofania		

.....

Operador

.....

Supervisor

Elaboración: El Autor.



4.1.2.5. Resultados de las capturas

Siguiendo consecutivamente el post-proceso para todas las observaciones correspondientes a cada muestra llegaron a ser post-procesadas 6 sub-muestras por cada muestra recolectadas en campo, en el caso de la parcela en Mocache un total de 4 muestras y en el caso de la parcela de Pueblo Viejo 12 muestras, dando un total de observaciones capturadas de 24 para Mocache y 72 en el caso de Pueblo Viejo.

Con el fin de obtener un resultado que represente la totalidad de la parcela se ha procedido a promediar las sub-muestras capturadas y consecuentemente a promediar las muestras hasta permitarnos obtener un promedio general de las mediciones para llegar a un solo resultado por parcela. Obtenemos entonces como resultado las firmas espectrales que representa la cobertura existente en la parcela Mocache, Figura 40, de igual manera la Figura 41 que representa la parcela de Pueblo Viejo.

De manera auxiliar se tuvo el soporte del Instituto Espacial Ecuatoriano al momento de capturar nuestras firmas espectrales en campo y brindaron las facilidades para realizar capturas de información conjunta con el espectro radiómetros de marca ASD, con el cual realizan trabajos de investigación. Todo esto con la finalidad de observar el comportamiento esperado del equipo StellarNet con el cual realizamos este trabajo. Como resultados se obtuvieron dos firmas espectrales de los mismos lugares muestreados que representan gráficamente firmas espectrales con un comportamiento típico de vegetación.

Al comparar con los resultados obtenidos por los espectro-radiómetros, pudimos observa lo siguiente:

El producto ASD posee una resolución de 1 nm, por otro lado StellarNET posee 0.50 nm con "BLACK-Comet" y 0.75 nm con "DWARF-Star", además ASD realiza un suavizado de las líneas.



Las firmas espectrales capturadas con ASD, poseen mayores niveles de respuesta en valores de reflectancia, lo que atribuimos a la referencia del blanco de calibración que posee ASD (spectralon).

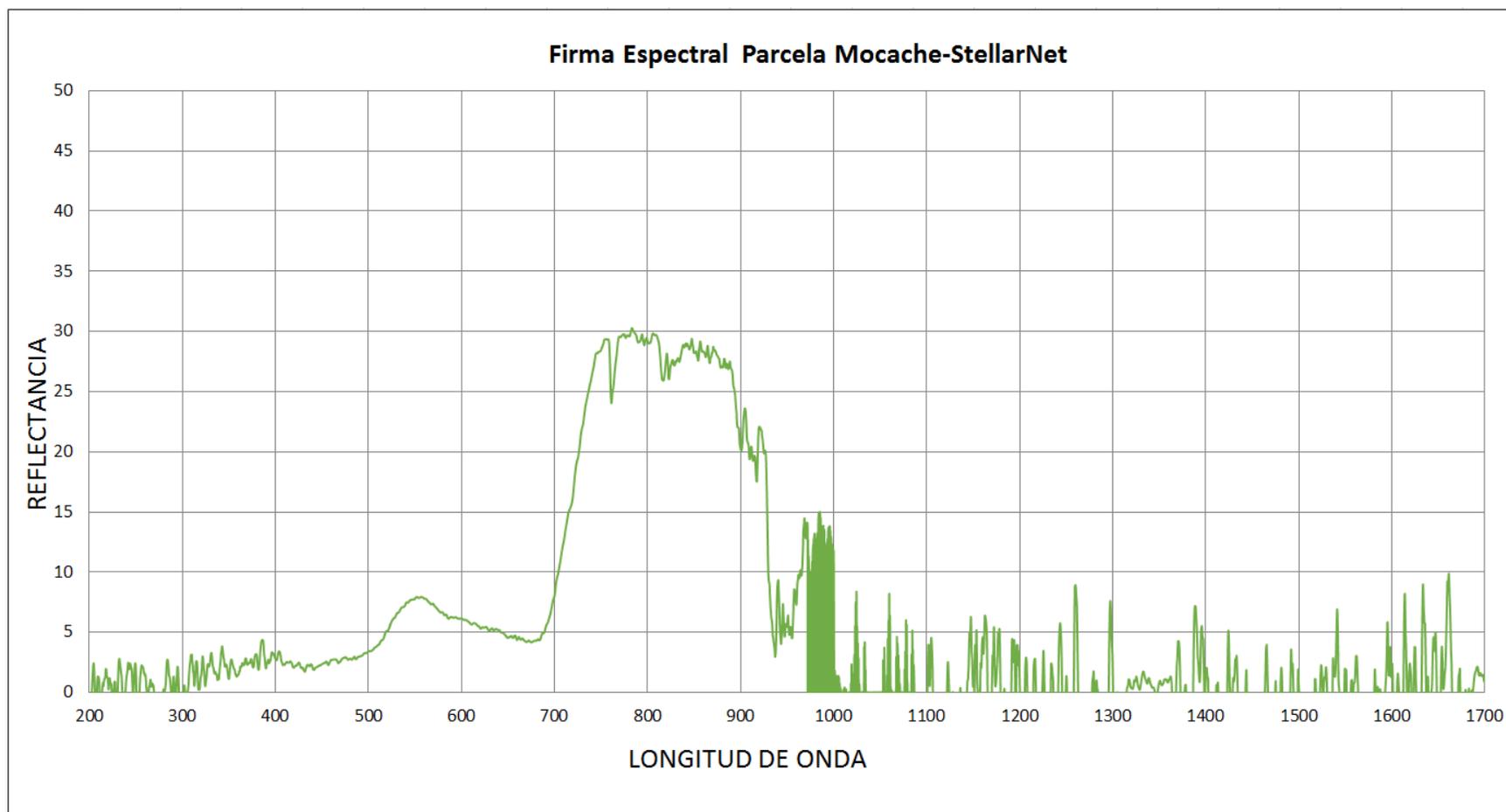
StellarNet, permite medir longitudes de onda entre 200-1700 nanómetros, ASD, permite medir entre 350 y 2400 nanómetros.

Ambas firmas espectrales tanto de ASD como StellarNet, presentan igual respuesta en la banda visible del verde, típico de la vegetación, coinciden también con la absorción en la banda del rojo y su consecuente reflexión de energía entre las bandas del rojo y el Infrarrojo cercano, conocido como RED EDGE.

Por motivos de corrección logarítmica del sensor StellaNet, en la sección del infrarrojo cercano presenta exageración de ruido.

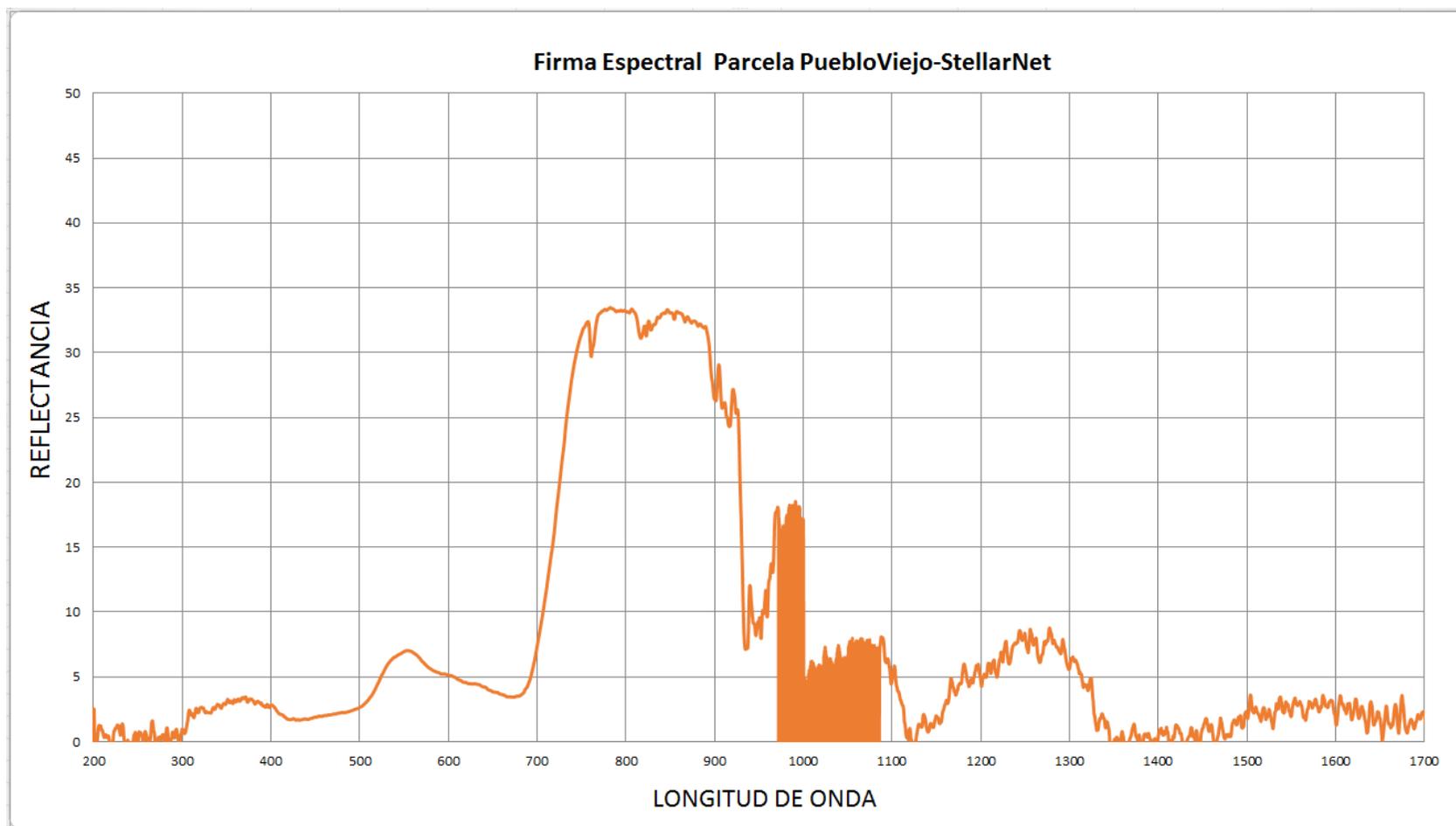
Ambos sensores, presentan variaciones extrañas correspondientes a las regiones de inicio y fin de los sensores internos. En nuestro caso tenemos 3 al inicio-medio-fin, en el caso de ASD presenta exageraciones en 4 regiones en vista de que está conformado por 3 sensores.

Figura 40: Firma espectral promedio como resultado en la parcela de Mocache



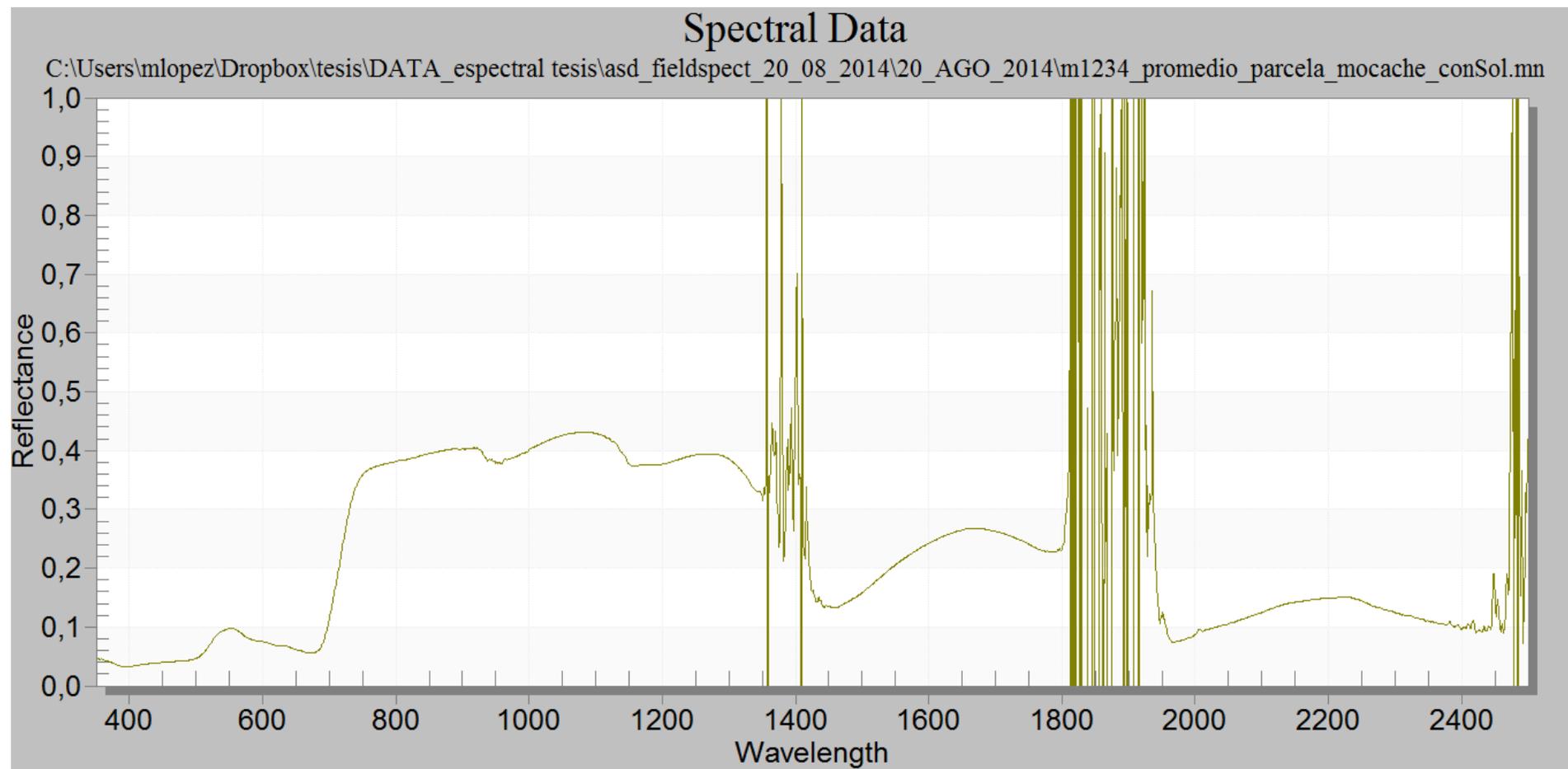
Elaboración: El Autor.

Figura 41: Firma Espectral promedio como resultado en la parcela de PuebloViejo.



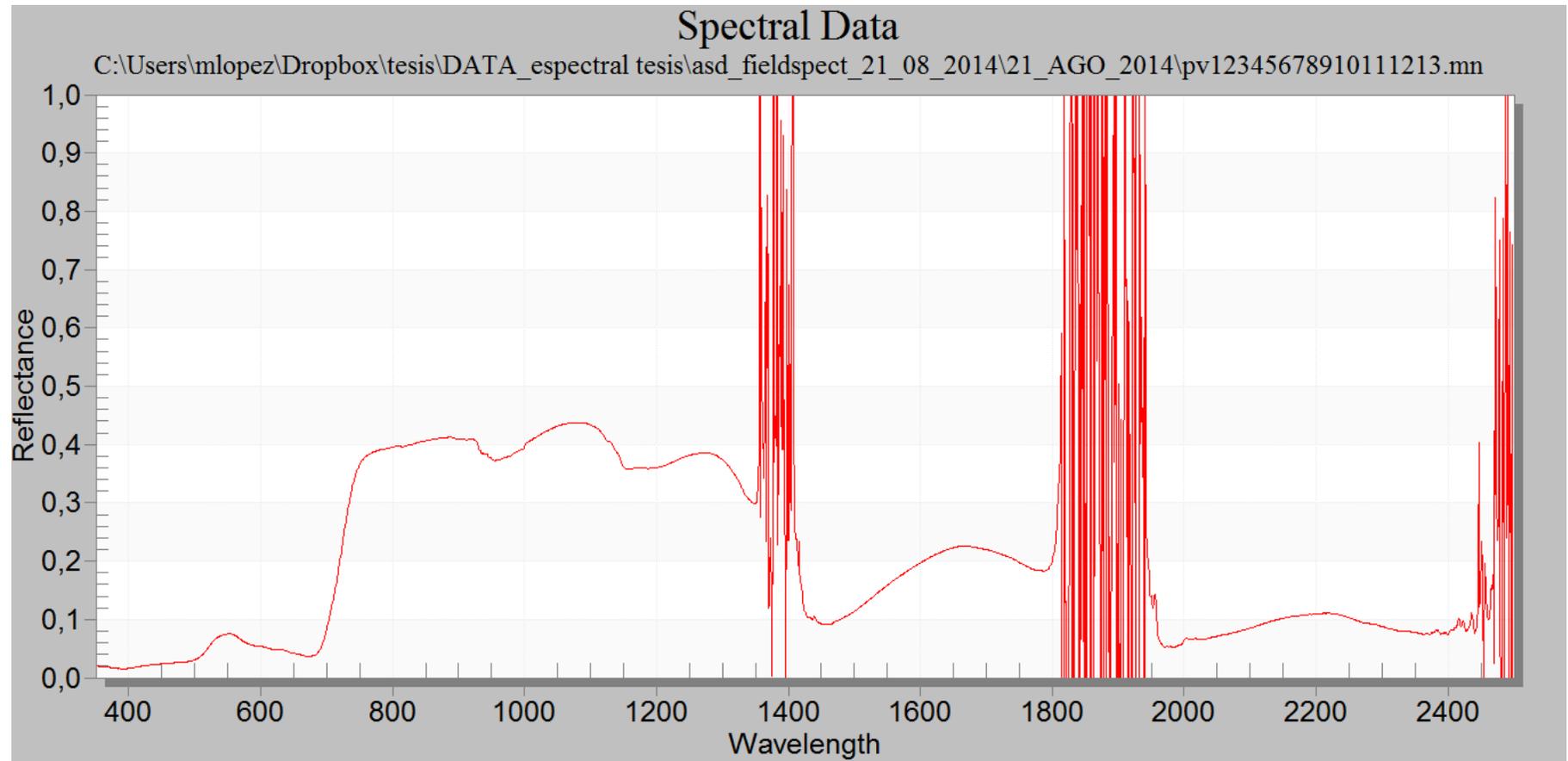
Elaboración: El Autor.

Figura 42: Firma espectral Capturada en la parcela de Mocache, con espectro-radiómetro ASD



Elaboración: El Autor.

Figura 43: Firma espectral Capturada en la parcela de la parcela Pueblo Viejo, con espectro-radiómetro ASD



Elaboración: El Autor.



Al aplicar estadística descriptiva a las muestras capturadas, constatamos el comportamiento de las medidas de dispersión que aplican para el presente estudio en el análisis de la información capturada en campo. Es así que se procedió a realizar el cálculo de la desviación estándar y el error estándar.

Al aplicar las medidas de dispersión a las firmas capturadas, no podemos conseguir un promedio general de una sola firma con respecto a todos sus datos, lo que si podemos comparar es la cantidad de reflectancia para cada longitud de onda entre muestras, ya que tienen similares magnitudes en todos los casos. Como podemos apreciar en la Figura 44, cada muestra que corresponde a una firma espectral está conformada por dos columnas de datos, la primera columna corresponde a la longitud de onda y la segunda a los valores de reflectancia medidos.

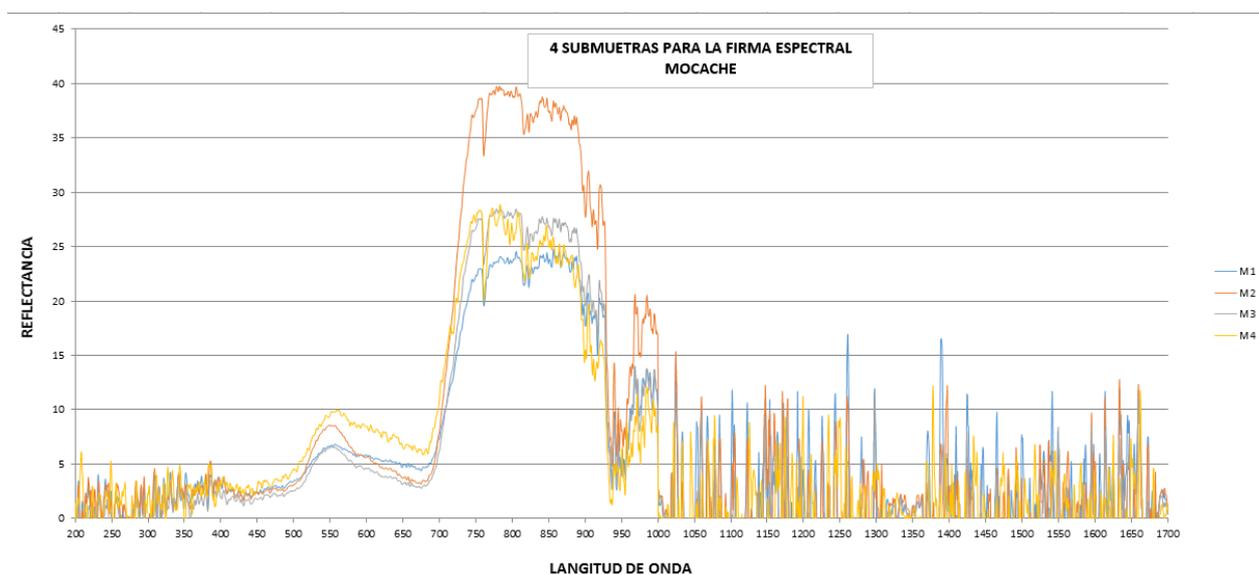
Figura 44: Ilustración de los valores tabulados.

Table with columns A-K and rows 1-37. Columns A-K are labeled m1, m2, m3, m4. Rows 1-17 show data for various wavelengths (198.5 to 205.5) and reflectance values. Rows 18-37 show a detailed breakdown of data points for each wavelength, including sub-columns for different parameters like p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z, AA, AB, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AN, AO, AP, AQ, AR, AS, AT, AU, AV, AW, AX, AY, AZ, BA, BB, BC, BD, BE, BF, BG, BH, BI, BJ, BK, BL, BM, BN, BO, BP, BQ, BR, BS, BT, BU, BV, BW, BX, BY, BZ, CA, CB, CC, CD, CE, CF, CG, CH, CI, CJ, CK, CL, CM, CN, CO, CP, CQ, CR, CS, CT, CU, CV, CW, CX, CY, CZ, DA, DB, DC, DD, DE, DF, DG, DH, DI, DJ, DK, DL, DM, DN, DO, DP, DQ, DR, DS, DT, DU, DV, DW, DX, DY, DZ, EA, EB, EC, ED, EE, EF, EG, EH, EI, EJ, EK, EL, EM, EN, EO, EP, EQ, ER, ES, ET, EU, EV, EW, EX, EY, EZ, FA, FB, FC, FD, FE, FF, FG, FH, FI, FJ, FK, FL, FM, FN, FO, FP, FQ, FR, FS, FT, FU, FV, FW, FX, FY, FZ, GA, GB, GC, GD, GE, GF, GG, GH, GI, GJ, GK, GL, GM, GN, GO, GP, GQ, GR, GS, GT, GU, GV, GW, GX, GY, GZ, HA, HB, HC, HD, HE, HF, HG, HH, HI, HJ, HK, HL, HM, HN, HO, HP, HQ, HR, HS, HT, HU, HV, HW, HX, HY, HZ, IA, IB, IC, ID, IE, IF, IG, IH, II, IJ, IK, IL, IM, IN, IO, IP, IQ, IR, IS, IT, IU, IV, IW, IX, IY, IZ, JA, JB, JC, JD, JE, JF, JG, JH, JI, JJ, JK, JL, JM, JN, JO, JP, JQ, JR, JS, JT, JU, JV, JW, JX, JY, JZ, KA, KB, KC, KD, KE, KF, KG, KH, KI, KJ, KK, KL, KM, KN, KO, KP, KQ, KR, KS, KT, KU, KV, KW, KX, KY, KZ, LA, LB, LC, LD, LE, LF, LG, LH, LI, LJ, LK, LL, LM, LN, LO, LP, LQ, LR, LS, LT, LU, LV, LW, LX, LY, LZ, MA, MB, MC, MD, ME, MF, MG, MH, MI, MJ, MK, ML, MM, MN, MO, MP, MQ, MR, MS, MT, MU, MV, MW, MX, MY, MZ, NA, NB, NC, ND, NE, NF, NG, NH, NI, NJ, NK, NL, NM, NN, NO, NP, NQ, NR, NS, NT, NU, NV, NW, NX, NY, NZ, OA, OB, OC, OD, OE, OF, OG, OH, OI, OJ, OK, OL, OM, ON, OO, OP, OQ, OR, OS, OT, OU, OV, OW, OX, OY, OZ, PA, PB, PC, PD, PE, PF, PG, PH, PI, PJ, PK, PL, PM, PN, PO, PP, PQ, PR, PS, PT, PU, PV, PW, PX, PY, PZ, QA, QB, QC, QD, QE, QF, QG, QH, QI, QJ, QK, QL, QM, QN, QO, QP, QQ, QR, QS, QT, QU, QV, QW, QX, QY, QZ, RA, RB, RC, RD, RE, RF, RG, RH, RI, RJ, RK, RL, RM, RN, RO, RP, RQ, RR, RS, RT, RU, RV, RW, RX, RY, RZ, SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SI, SJ, SK, SL, SM, SN, SO, SP, SQ, SR, SS, ST, SU, SV, SW, SX, SY, SZ, TA, TB, TC, TD, TE, TF, TG, TH, TI, TJ, TK, TL, TM, TN, TO, TP, TQ, TR, TS, TT, TU, TV, TW, TX, TY, TZ, UA, UB, UC, UD, UE, UF, UG, UH, UI, UJ, UK, UL, UM, UN, UO, UP, UQ, UR, US, UT, UY, UZ, VA, VB, VC, VD, VE, VF, VG, VH, VI, VJ, VK, VL, VM, VN, VO, VP, VQ, VR, VS, VT, VU, VV, VW, VX, VY, VZ, WA, WB, WC, WD, WE, WF, WG, WH, WI, WJ, WK, WL, WM, WN, WO, WP, WQ, WR, WS, WT, WU, WV, WW, WX, WY, WZ, XA, XB, XC, XD, XE, XF, XG, XH, XI, XJ, XK, XL, XM, XN, XO, XP, XQ, XR, XS, XT, XU, XV, XW, XX, XY, XZ, YA, YB, YC, YD, YE, YF, YG, YH, YI, YJ, YK, YL, YM, YN, YO, YP, YQ, YR, YS, YT, YU, YV, YW, YX, YY, YZ, ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, ZF, ZG, ZH, ZI, ZJ, ZK, ZL, ZM, ZN, ZO, ZP, ZQ, ZR, ZS, ZT, ZU, ZV, ZW, ZX, ZY, ZZ.

Elaboración: El autor.

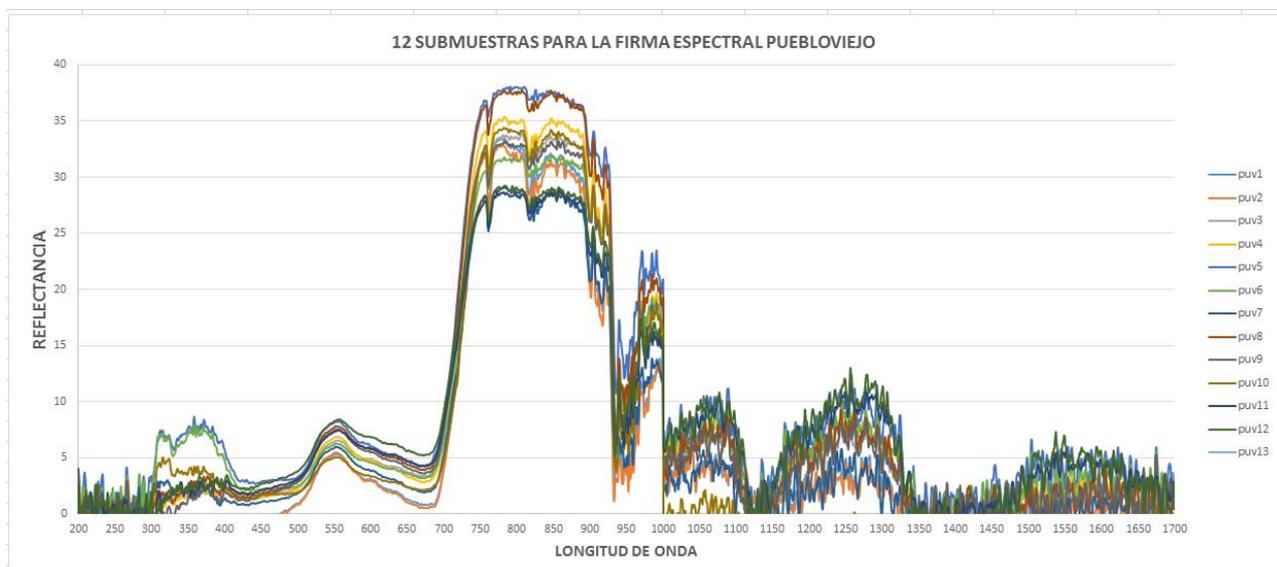
Es conocido que en las campañas de campo en el caso de la finca de Mocache se capturaron 4 muestras (Figura 45), y en el caso de la finca de Pueblo Viejo se capturaron 12 muestras (Figura 46), estas muestras a su vez corresponden a los promedios de sus respectivas submuestras, es así que obtenidas las muestras podemos describir su comportamiento entre sí.

Figura 45: Submuestras para la firma espectral (Mocache).



Elaboración: El autor.

Figura 46: Submuestras para la firma espectral (Pueblo Viejo).



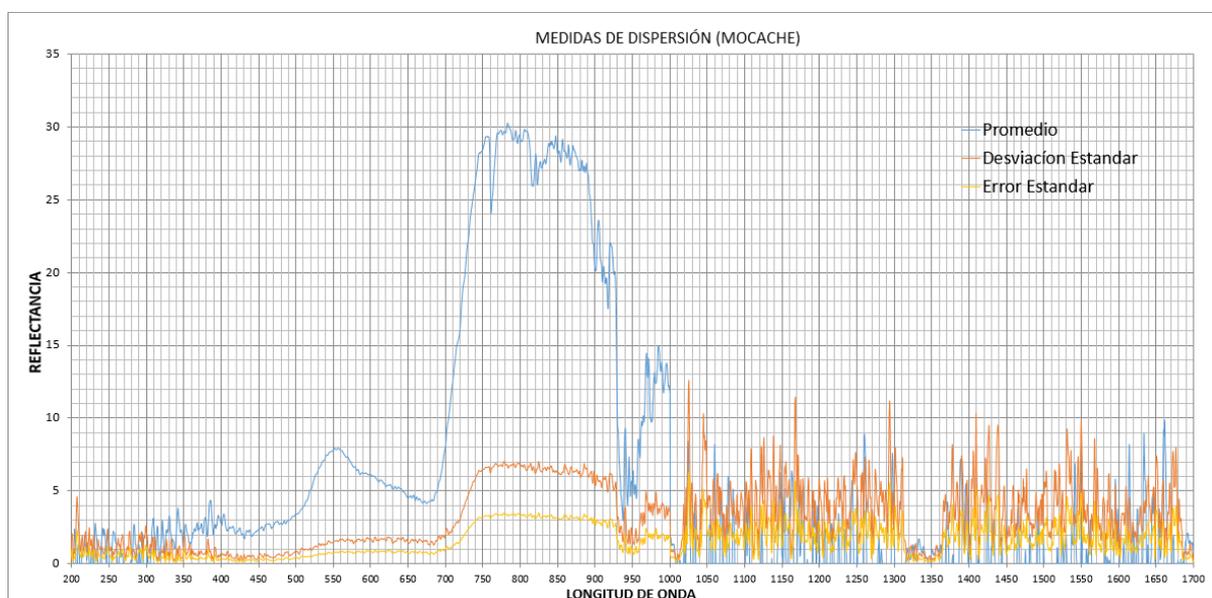
Elaboración: El autor.

Para el caso de la firma espectral capturada en la finca Mocache se ha calculado la desviación estándar y el error estándar para cada una de las lecturas de reflectancia de las 4 muestras capturadas (Figura 47).

De igual manera se procedió con la firma capturada en la finca Pueblo Viejo, con 12 muestras, (Figura 48).

En los dos casos observamos que los valores calculados de desviación y error estándar se puede graficar curvas en la que cada valor calculado con su correspondiente longitud de onda, no permiten observar en qué lugar de la firma espectral se ha producido más variación de los datos.

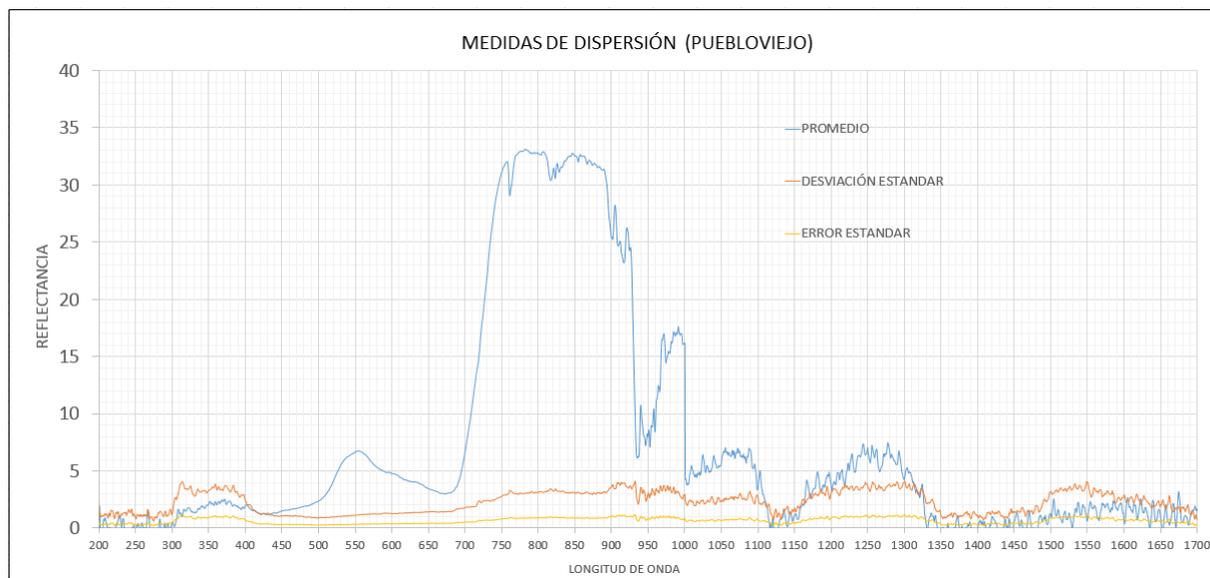
Figura 47: Comparación de la desviación estandar y error estandar con relación al promedio (Mocache).



Elaboración: El autor.

Es así que podemos observar que los datos que conforman la firma espectral de Mocache, presentan desviaciones estándar con valores inferiores a 2 unidades hasta la longitud de onda de 700 nm, a partir de esta región existe un incremento de la desviación hasta de 7 unidades, con lo que podemos decir que este cambio y este aumento en la variabilidad de los datos corresponde a la región del brinco del infrarrojo o REDEGE, que es en donde más influye la cantidad de energía incidente en ese momento. De la misma manera el error estándar obedece al mismo patrón con la singularidad de que sus valores son inferiores.

Figura 48: Comparación de la desviación estandar y error estandar con relación al promedio (Pueblo Viejo)



Elaboración: El autor.

En el caso de la firma de Pueblo Viejo se puede observar que los valores calculados de desviación estándar y error estándar se encuentran por debajo de 5 unidades y en su mayor parte muy estable, lo que corresponde a la influencia directa de la incidencia sol, lo que nos dice que en este caso hubo mejores condiciones que la firma anterior, al momento de la captura de información.

4.1.3. Socialización y divulgación del proyecto a grupos de interés

Con la finalidad de difundir la espectro-radiometría, como ciencia amiga de la agricultura y el ambiente, se necesita crear lazos de difusión, para esto se ha presentado una propuesta con el fin de dar a conocer el interés de incursionar en esta área y encontrar experiencias que permitan avanzar en base a otras experiencias.

Se realizaron conversaciones vía Skype con el Grupo de Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas del Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica, dentro de Instituto Agustín Codazzi, en Colombia, los cuales nos permitieron exponer los propósitos de esta investigación, con lo que les pareció muy importante y dejaron una puerta abierta para futuros trabajos conjuntos en temas espectrales.



De igual manera vía Skype se realizó una presentación al Instituto de Economía, Geografía, y Demografía, del Centro de Ciencias Humanas y Sociales, dentro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, con sede en Madrid España, quienes muy interesados, alentaron nuestra propuesta, y colaboraron con una serie de resúmenes de seminarios con avances en la espectro-radiometría de campo.

Posteriormente se pudo tener un acercamiento con el Instituto Espacial Ecuatoriano, dentro del proyecto de investigación "Incidencia del cambio climático y nutrición en cultivos de arroz, maíz duro y papa con modelos de predicción de cosechas mediante métodos espaciales y espectrales (maíz duro)", y el proyecto "Desarrollo de metodologías integrales para la identificación en vegetación de contaminación por hidrocarburos mediante el uso de tecnologías espaciales espectrales y espectroscopia de imágenes", en donde luego de una primera visita en la que se presentó nuestra propuesta de investigación recibimos toda la cordialidad y predisposición para realizar una pasantía dentro de estas áreas, e intercambiar conocimientos, experiencias, conocer equipos diferentes que finalmente permitió generar este documento.

Con los trabajos de campo concluidos se realizaron presentaciones a grupos de interés al interior de PROMAS-Universidad de Cuenca y al interior de la Carrera de Ingeniería Agronómica, al octavo ciclo, en donde se permitió informar de los alcances y posibilidades de esta ciencia en nuestro medio, consiguiendo llamar la atención de los estudiantes sobre una nueva área.

4.2. Discusiones

Luego de haber ejecutado el protocolo para la captura de información espectral con el espectro-radiómetro de, marca StellarNet; modelo "BLACK-Comet BLK-C-SR 200-1080" y "DWARF-Star Miniature NIR Spectrometer 1000-1700", y haber dispuesto de la colaboración del IEE, con sus propios equipos, pudimos hacer comparaciones, rápidas de sus funcionamientos tanto en hardware como software, es así que:



- ✓ El equipo StellarNet, necesita de un post-proceso para observar resultados, concisos, permitiendo la posibilidad de guardar capturas erróneas que solo se podrán saber luego de efectuado el post-proceso.
- ✓ El software SpectraWiz, realiza capturas manuales e individuales, por lo que no permite capturas secuenciales como lo realiza el Equipo ASD.
- ✓ Los cálculos logarítmicos que realiza ASD para disminuir los ruidos producto de la unión de señales de los sensores, es mucho más eficiente.
- ✓ La comunicación de los sensores con el computador es mediante cables USB lo cual dificulta la movilidad además de requerir mínimo dos personas para la captura de información en campo.
- ✓ Al no poseer un blanco de referencia, las lecturas siempre serán un tanto menores a la cantidad real de energía incidente, con la observación que la respuesta de la curva corresponde totalmente al objeto.
- ✓ Es de vital importancia usar sistemas de información geográfica, además de equipos para levantar geo-información que permita planificar y proponer números de muestras además q nos ayuden a distribuir espacialmente el trabajo en campo.
- ✓ Existen diferencia de nivel hoja y dosel estas diferencias corresponden a que las propiedades ópticas de las superficies naturales no deben considerarse de manera única y estática, deberá tenerse en cuenta que no existe una "Firma espectral" característica de un tipo de cubierta que se pueda utilizar de forma universal. En realidad las propiedades espectrales de las superficies naturales, varían de forma importante en función de su entorno.



CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ Se pudo llegar a describir un manual de operaciones cuyo proceso sistemático y metódico corresponde a la revisión de literatura, además que su validación en campo, permite la captura de firmas espectrales, con el espectro-radiómetro “BLACK-Comet BLK-C-SR 200-1080” y “DWARF-Star Miniature NIR Spectrometer 1000-1700”.
- ✓ Las firmas espectrales capturadas obedecen a patrones típicos de vegetación en las bandas del verde, rojo, y en el brinco del infrarrojo cercano, dependiendo su intensidad de la incidencia del sol en ese momento.
- ✓ Conjuntamente con los Sistemas de Información Geográfica y la estadística se pudo proponer un método para muestrear áreas específicas, es decir finitas, para lo cual se debe considerar características como homogeneidad del sitio a ser muestreado, obedeciendo a criterios comparables con el muestreo para análisis y mapeo de suelos a diferentes escalas.
- ✓ Luego de capturar firmas espectrales, es necesario se guarde una información adicional conocida como metadato que dé a entender o explique el método y las condiciones que en las cuales se recogieron las muestras o firmas, además del objetivo del muestreo, ya que una firma puede ser el resultado promedio de una cobertura vegetal o corresponder a una sola especie.
- ✓ La espectro-radiometría de campo siendo una ciencia relativamente nueva, brinda condiciones ideales para hacer lazos de trabajo conjunto ya que se alimenta y se apoya de experiencias, es así que de todas las



entidades relacionadas con esta ciencia se constató que se encuentran dispuestos a afianzar lazos de cooperación conjunta.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Como pudieron verse en los resultados, las firmas capturadas con el equipo StellarNet, presentan menor cantidad de reflectancia, lo que ha sido atribuido a la falta de un blanco de referencia estándar, por lo que debería considerarse la adquisición de éste.
- ✓ Para el levantamiento de cada sub-muestra se deberá realizar el encerado y calibración al blanco y al negro de los equipos, a menos que las condiciones sean estables durante todo el transcurso del muestreo.
- ✓ Sería necesario prever en las planificaciones de campo un tiempo adicional, que permita la correcta captura de información, tratando de buscar influencia directa y continua del sol al momento de levantar las muestras, ya que al mínimo cambio de luminosidad se deberá realizar nuevas calibraciones al blanco y al negro.
- ✓ De igual manera una vez en campo se deberá buscar las horas del día comprendidas entre media mañana y media tarde ya que luego de esas horas, la luz demora mucho más tiempo en atravesar las capas atmosféricas, pudiendo significar cambios notables en la coloración de la luz y de la energía incidente.
- ✓ No se deberá continuar con la captura de sub-muestras, si en el transcurso de la toma de datos sucede el paso de una nube o cualquier interferencia entre el objeto a ser muestreado y la luz directa del sol, como suele darse el caso de sombra, ya que esto puede significar un cambio de intensidad y se deberá esperar las condiciones ideales para encerar el equipo.



- ✓ La fibra óptica que nos permite direccionar la energía al sensor es muy delicada y en el caso del radiómetro es demasiado corta ya que posee solamente un metro de extensión.

- ✓ Es necesario tener nociones básicas del manejo de Sistemas de Información Geográfico, así como el levantamiento de geo información con el fin de apoyarnos al momento de planificar las sesiones de captura de datos.

- ✓ La fuente de alimentación del sensor proviene del computador portátil por lo que se necesitará considerar baterías extras.



CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. Bibliografía

- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., & Williams, T. A. (2008). *Estadística para administración y economía* (10a Edición.). México, D.F.: CENAGE Learning.
- Barret, E., & Curtis, L. (1995). *Introduction to environment remote sensing* (3rd ed.). London: CHAPMAN & HALL.
- Ben-Dor, E., Chabrilat, S., Demattê, J. A. M., Taylor, G. R., Hill, J., Whiting, M. L., & Sommer, S. (2009). Using Imaging Spectroscopy to study soil properties. *Remote Sensing of Environment*, 113, Supplement 1(0), S38 – S55. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.019>
- Boreman, G. D. (1999). *Fundamentos de electro-óptica para ingenieros*. SPIE. Retrieved from <http://books.google.com.ec/books?id=3ANAOqwjYuUC>
- Castro, R. (1999). *Sistema para el Seguimiento y Análisis de Tierras mediante Teledetección BASES TEÓRICAS*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Retrieved from http://www2.inia.cl/medios/platina/descarga/TallerSatelital/bsesteoricasp.remota_rcastro.pdf
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección ambiental* (2nd ed.). Madrid: RIALP S.A.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental La observación de la tierra desde el espacio* (3rd ed.). Barcelona: Ariel S.A.
- Elan, G. (2006). *Gis Fundamentals, Applications and Implementations*. Nueva Deli: NewIndiaPublishingAgency.
- Fernandez-Copel, I. A., & Herrero Llorente, E. (2001). *El Satelite LANDSAT, Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satelite LANDSAT*. Valladolid, España: Universidad de Valladolid.
- Gandía, S., Meliá, J., Miralles, J. M., & València, U. de. (1991). *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: agricultura*. Universitat, Unidad de Teledetección, Departament de



- Termodinámica. Retrieved from
<http://books.google.com.ec/books?id=t8ZLSpM20m8C>
- Hapke, B. (2012). *Theory of reflectance and Emittancia spectroscopy* (2nd ed.). New York.
- Jensen, J. R. (2009). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective 2/e*. Pearson Education. Retrieved from
http://books.google.com.ec/books?id=ge_nwDX-HBEC
- Jones, H. G., & Vaughan, R. A. (2010). *Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications*. Oxford University Press. Retrieved from <http://books.google.com.ec/books?id=gi5FAQAAIAAJ>
- Levin, R. I., & Rubin, D. S. (2004). *Estadística para administración y economía*. Pearson Educación. Retrieved from
<http://books.google.com.ec/books?id=0KVtr8EBZIQC>
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (1999). *Remote sensing and image interpretation* (4th Edition.). Wiley & Sons. Retrieved from
<http://books.google.com.ec/books?id=BU3uAAAAMAAJ>
- Manual de Teledetección*. (2004). Buenos Aires: Publicaciones SECASD.
- Manzano, G. (2008). *Principios Físicos de Teledetección*. Universidad de Almería.
- Mas, R. (2011). *Tutorial (nivel básico), para la elaboración de mapas con ArcGis*. Universidad Autónoma de Madrid.
- McCoy, R. M. (2005). *Field Methods in Remote Sensing*. Guilford Press. Retrieved from <http://books.google.com.ec/books?id=jxalSbaxb6QC>
- Milton, E. (1987). Principles of field spectroscopy. *International Journal of Remote Sensing (ISSN 0143-1161), Vol. 8, P. 1807-1827., 1807–1827.*
- Morilla, A. L. (2011). *Gran manual de magnitudes físicas y sus unidades.: Un estudio sistemático de 565 magnitudes físicas*. Editorial Díaz de Santos, S.A. Retrieved from <http://books.google.com.ec/books?id=0ZgmUllalCkC>
- Muñoz, A. (2006). *Teledetección nociones y aplicaciones*. Avila: Carlos Perez Guitierrez.
- Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica*.
<http://creativecommons.org>.



- PROMAS-Universidad de Cuenca. (2014). *PLAN DE APROVECHAMIENTO Y CONTROL DEL AGUA EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS ESTUDIO DE FACTIBILIDAD - RESUMEN EJECUTIVO*. Cuenca.
- Reuter, F. (2009). Principios de Teledetección.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2006). *Metodología de la investigación*. MacGraw-Hill/Interamericana. Retrieved from http://books.google.com.ec/books?id=4_-kPwAACAAJ
- Sarria, francisco A., & Palazón, J. A. (2008). *HERRAMIENTAS DE LA TELEDETECCIÓN APLICADAS A LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Segado, F. (1996). *Principios de Teledetección*. Murcia: Servicio de Publicaciones Universidad de Murcia.
- Sobrino, J. (2000). *Teledetección*. Valencia: Guada Impresiones.
- Toselli, F., & Bodetctel, J. (1992). *Imaging spectroscopy fundamentals and propective application*. Brussels: Kluwer Academic Publishers.
- Van der Meer, F., & de Jong, S. M. (2002a). *Imaging Spectrometry:: Basic Principles and Prospective Applications*. Kluwer Academic Publishers. Retrieved from <http://books.google.com.ec/books?id=XDBRCpQy64UC>
- Van der Meer, F., & de Jong, S. M. (2002b). *Imaging Spectrometry:: Basic Principles and Prospective Applications*. Kluwer Academic Publishers. Retrieved from <http://books.google.com.ec/books?id=XDBRCpQy64UC>
- Holm, R.G., Jackson, R.D., Yuan, B., Moran, M.S., Slater, P.N. & Biggar, S.F., 1989, Surface reflectance factor retrieval from Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment*, 27: 47-57.
- NOTA
- Danson, F.M., Steven, M.D., Malthus, T.J. & jaggard, K.W., 1990. Spectral response of sugar beet to water stress, Proceed, of the 16th Annual Conference of the Remote Sensing Society "Remote Sensing and Global Change", University College of Swansea, 19th-21st September 1990, ed. by M.G. Coulson, 49-58.



CAPÍTULO VII. ANEXOS**7.1. Cuadro cálculo de segundos para respuesta con diferentes tiempos de integración y número de promedios**

INT TIME (ms)	(s)	AVERAGE (1)	AVERAGE (2)	AVERAGE (3)	AVERAGE (4)	AVERAGE (5)	AVERAGE (10)	AVERAGE (15)
250	0,25	0,25	0,5	0,75	1	1,25	2,5	3,75
100	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	1,5
50	0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75
20	0,02	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3
10	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,1	0,15
1	0,001	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,01	0,015

Elaboración y Fuente: El autor



7.2. Metadato de las firmas capturadas

7.2.1. Metadato 1: Granja Mocache.



METADATO ESPECTRAL



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACION ESPECTRAL	
1.1 Espectro Radiometro	BLACK-Comet 200-1080 y DWARF-NIR 1000-1700 (StellaNet)
1.2 Operador	Mateo Lopez Espinoza
1.3 Fecha de Muestreo	20/08/2014
1.4 Hora	14:00 - 15:50
1.5 Objeto Muestreado	Cultivo de sandia (15 días)
1.6 Descripción	El objeto fue capturado en secciones de captura con promedios de 0.5 y tiempos de integracion de 100 ms, a 1.20 de altura del piso.

2.1 Ubucación	CoorX	CoorY	Altitud
Granja Mocache	662790	9869861	45 m snm.

3.1 FOTO	1.7 Campaña Codigo	3.2 FOTO 2
	mo	
	1.8 Firma N*	
	4	

Condiciones Meteorológicas	Estacion mas cercana	Obsevación en campo
4.1 Temperatura	----	35.4°C
4.2 Humedad	----	49.70%
4.3 Nubosidad	----	----
4.4 Radiación Solar	----	----
4.5 Heliofania	----	----

.....
Operador

Ing. Eduardo Tacuri Espinoza M.Sc.
Supervisor



7.2.2. Metadato 2: Granja Pueblo Viejo.

**METADATO ESPECTRAL**

FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACION ESPECTRAL	
1.1 Espectro Radiometro	BLACK-Comet 200-1080 y DWARF-NIR 1000-1700 (StellaNet)
1.2 Operador	Mateo Lopez Espinoza
1.3 Fecha de Muestreo	21/08/2014
1.4 Hora	10:00 - 13:00
1.5 Objeto Muestreado	Cultivo de Pasto
1.6 Descripción	El objeto fue capturado en secciones de captura con promedios de 0.5 y tiempos de integracion de 100 ms, a 1.20 de altura del piso.

2.1 Ubucación	CoorX	CoorY	Altitud
Granja PuebloViejo	661663	9834835	19 m. snm

3.1 FOTO	1.7 Campaña Codigo	3.2 FOTO 2	1.8 Firma N°
	puv		12

Condiciones Meteorológicas	Estacion mas cercana	Obsevación en campo
4.1 Temperatura	----	34.3°C
4.2 Humedad	----	55.50%
4.3 Nubosidad	----	----
4.4 Radiación Solar	----	----
4.5 Heliofania	----	----


Operador


Ing. Eduardo Tacuri Espinoza M.Sc.
Supervisor



7.3. Oficios De respaldo institucional para cooperación técnica con el Instituto Espacial Ecuatoriano.

7.3.1. Carta de invitación.



Proyecto “Desarrollo de metodologías integrales para la identificación en vegetación de contaminación por hidrocarburos mediante el uso de tecnologías espaciales espectrales y espectroscopia de imágenes”

Quito, 12 de junio de 2014

Ing. Felipe Cisneros PhD.
Director de PROMAS-Universidad de Cuenca
Presente.

Estimado Ingeniero,

En virtud de trabajos afines que realizamos en el campo de la espectrometría, es importante para nosotros mantener una reunión demostrativa de los equipos que disponen ambas instituciones por lo cual les solicitamos se autorice la visita del Ing. Eduardo Tacuri y el Sr. Mateo López a las instalaciones del Instituto.

Agradeciendo su atención, me despido cordialmente,


José Luis Rivadeneira
DIRECTOR DE PROYECTO



7.3.2. Aceptación para realizar pasantía en temas espectrales.



Oficio Nro. IEE-1-2014-0574-OF

Quito, D.M., 18 de julio de 2014

Asunto: Viabilidad para colaboración a Promas

Doctor
Felipe Eduardo Francisco Cisneros Espinoza
Director
UNIVERSIDAD DE CUENCA PROMAS
En su Despacho

Me permito comunicar a usted, señor Director, que el Instituto Espacial Ecuatoriano, acepta la petición efectuada con oficio No. 213/PROMAS/2014 de 23 de junio de 2014, y por lo tanto brindará el soporte técnico al señor Mateo Damián López Espinoza, estudiante de la Facultad de Ingeniería Agrónoma, que permita cumplir los objetivos de la tesis planteada por el referido alumno.

Toda vez que el IEE se encuentra ejecutando el proyecto de investigación "Incidencia del cambio climático y nutrición en cultivos de arroz, maíz duro y papa con modelos de predicción de cosechas mediante métodos espaciales y espectrales (maíz duro)", los productos que se obtengan, serán utilizados en el referido proyecto.

Las coordinaciones deberán realizarse con el señor Mayo, Téc. Avc. Edison Lozano, Director de Desarrollo Tecnológico, al número 02-2-543193 Ext 3307 ó 3309 o al correo electrónico edison.lozano@institutoespacial.gob.ec.

Aprovecho la oportunidad para expresar a usted, mis sentimientos de consideración más distinguida.

Atentamente,
DIOS, PATRIA Y LIBERTAD;

Crm. EMT. Ave. Fredy Roberto Robles Fernández
DIRECTOR EJECUTIVO

Referencias:
- IEE-1-2014-0699-E

Anexos:
- UNIV CUENCA 213 23jun14 soporte tecnico.pdf
- Informe Promas



Oficio Nro. IEE-1-2014-0574-OF

Quito, D.M., 18 de julio de 2014

jm/ma/el



Ministerio
de Defensa
Nacional



Instituto Espacial
Ecuatoriano

Informe de viabilidad para colaboración a PROMAS Universidad de Cuenca

El Instituto Espacial Ecuatoriano, para el cumplimiento de sus objetivos, se encuentra desarrollando varios proyectos de investigación, entre ellos el denominado, "INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y NUTRICIÓN EN CULTIVOS DE ARROZ, MAÍZ DURO Y PAPA, CON MODELOS DE PREDICCIÓN DE COSECHAS MEDIANTE MÉTODOS ESPACIALES Y ESPECTRALES", en el cual el personal asignado al mismo ha sido capacitado y cuenta con el conocimiento en la captura de firmas espectrales, así como el uso del espectroradiómetro.

El 08 de abril de 2014, entre el Instituto Espacial Ecuatoriano-IEE- y la Universidad de Cuenca se suscribió el Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional, siendo entre otros sus objetivos, el de planificar y ejecutar programas de intercambio de datos, información, métodos, metodologías; y, transferencia del conocimiento y tecnológica en los campos de las ciencias espaciales, teledetección, sistemas de información geográfica y análisis de datos socioeconómicos y demográficos.

La Universidad de Cuenca, mediante oficio N° 213/PROMAS/ 2014, de 23 de junio de 2014, se dirige al señor Director del Instituto Espacial Ecuatoriano, a fin de solicitar se brinde soporte técnico para la elaboración de: "Un manual de operaciones para la captura de firmas espectrales, con el espectroradiómetro de campo StellarNet" y "Realizar pruebas de campo para validar el método propuesto y su correspondiente post-proceso", el mismo que será realizado por el señor Mateo Damián López Espinoza, estudiante de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Cuenca.

La temática solicitada, ha sido revisada por el equipo de Investigación del IEE determinándose que será de gran utilidad para ambas instituciones, el brindar el soporte técnico solicitado, ya que fomenta el desarrollo de conocimiento y experiencia en el área de espectroscopía, dando como resultado la comparación de señales del espectrómetro comercial del IEE con el espectrómetro del PROMAS.

Por lo antes indicado, y en coordinación con la Asesoría Jurídica se **RECOMIENDA**, se otorgue el soporte técnico solicitado y se realice el cronograma de trabajo correspondiente debidamente avalado por las dos instituciones.

Atentamente,



Ing. Javier Maiguashca
Instituto Espacial Ecuatoriano
Director del Proyecto



7.4. Registro de Asistencia a los eventos realizados.

7.4.1. Socialización al octavo ciclo de la carrera de Ingeniería agrónoma.

UNIVERSIDAD DE CUENCA-FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Socialización de la investigación a grupos de interés



REGISTRO DEL EVENTO --- (8/10/2014)

#	NOMBRE	CÉDULA	CORREO	INSTITUCIÓN/ CICLO	FIRMA
1	Marisol Pomavilla	010708676	pomarisol29be@hotmail.com	octavo	
2	Diego Sánchez	0104941151	diego.sanchez.salinas@gmail.com	octavo	
3	Julia Pando	0104023436	juliapando@hotmail.com	octavo	
4	Alexandra Alvarado	010513245-8	alexandra.alv@gmail.com	Octavo	
5	Yavier Deleg	1401011794	ricardo.deleg.xcl@gmail.com	Octavo	
6	Carlos Riera	0106640725	el-cajitos_gt@hotmail.es	Octavo	
7	Luis Sánchez	0105256036	Luis.sanchezabril@hotmail.com	8vo	
8	Jeneth Palacios Peñafiel	030230135-3	jeneth.palaciosp@hotmail.com	8vo	
9	Piedad Pani	0103582399	piya.p.3@gmail.com	8vo	
10	Jean Carlos Giler	060443316-9	jean.eda@hotmail.com	8vo	
11					
12					
13					
14					
15					



7.4.2. Socialización y trabajo realizado en la vista al IEE (Quito) los días del 23-30 de julio de 2014.

UNIVERSIDAD DE CUENCA-FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



REGISTRO

En visita realizada los entre los días 23-30 de julio de 2014, por parte del tesista Mateo López Espinoza al Instituto Espacial Ecuatoriano, se recibió ayuda en temas técnico-científicos e intercambio de experiencias sobre el uso de espectro-radiómetros de campo y metodologías de captura de respuestas espectrales.

#	NOMBRE	TELEFONO	CORREO	ENTIDAD/CARGO	FIRMA
1	Javier Matgushca	022543193	javier.matgushca@institutoespacial.gob.ec	Instituto Espacial Ecuatoriano	
2	Gabriela Carrera	0985559802	gabriela.carrera@institutoespacial.gob.ec	INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO	
3	Jose Luis Rivadeneira	0996035722	jose.rivadeneira@institutoespacial.gob.ec	"	
4	Carolina Ortega B.	0983707511	carolinaortega@hot-mail.com	INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO	
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					



7.4.3. Socialización primera visita al IEE (Quito), el día 17 de junio del 2014.

UNIVERSIDA DE CUENCA-FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



REGISTRO DEL EVENTO --- (17/06/2014)

#	NOMBRE	CÉDULA	CORREO	ENTIDAD/CARGO	FIRMA
1	Javier Maiguashca	171374037-9	javier.maiguashca@institutoespacial.gob.ec	Director de Proyecto	
2	Ricardo Fonseca	1717553658	ricardo.fonseca@institutoespacial.gob.ec	Investigador	
3	Alejandra Cabrera	1716161607	alejandra.cabrera@institutoespacial.gob.ec	IEE Investigación	
4	CHRISTIAN FERNANDEZ	171636014-2	christian.fernandez@institutoespacial.gob.ec	Investigador	
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

7.5. Fotografía de Espectro Radiometro Portatil de marca StellarNET modelo “BLACK-Comet BLK-C-SR 200-1080” y “DWARF-Star Miniature NIR Spectrometer 1000-1700”.





7.6. Manual de operaciones para el espectro-radiómetro portable StellarNet



STELLARNET

Manual de Operaciones Para el Espectro Radiómetro Portable

Modelo:

“BLACK-Comet BLK-C-SR 200-1080”

“DWARF-Star Miniature NIR Spectrometer 1000-1700”



ESPAÑOL



Manual de Operaciones

Para el Espectro Radiómetro Portable



ESTE DOCUMENTO PRETENDE SERVIR DE MANUAL DE OPERACIÓN PARA LA CAPTURA DE DATOS CON EL ESPECTRO RADIÓMETRO PORTABLE BLACK-COMET BLK-C-SR Y DWARF-STAR MINIATURE NIR SPECTROMETER, ESTOS SENSORES PERMITEN LA CAPTURA Y MEDICIÓN DE ENERGÍA COMPRENDIDA EN RANGOS DE 200 A 1700 NANÓMETROS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

EL PROCESO METODOLÓGICO BÁSICO ESTÁNDAR PARA LA CAPTURA DE RESPUESTAS ESPECTRALES PARA ESTE EQUIPO, ESTÁ ELABORADO EN BASE A SUS POTENCIALIDADES Y LIMITACIONES, ENFOCÁNDOSE EN METODOLOGÍAS PARA LA CAPTURA DE COBERTURAS DE SUELO BAJA, ES DECIR VEGETACIÓN DE CARÁCTER HERBÁCEO, Y DE ALTURAS LIMITADAS.



ADVERTENCIA:

TODAS LAS PROCESOS DE CAPTURA DE INFORMACIÓN ESPECTRAL IMPLICAN ACTIVIDADES BAJO LA LUZ DIRECTA DEL SOL EN HORAS DEL DÍA CUANDO LA RADIACIÓN SOLAR ES FUERTE POR LO QUE SE RECOMIENDA USAR PROTECTOR SOLAR Y VESTIMENTA QUE PROTEJA NUESTRA SEGURIDAD FÍSICA ANTE LA INFLUENCIA DEL SOL.



Partes del Espectro Radiómetro Portable4

Montaje e Instalación del espectro radiómetro.....7

**Procedimiento para la captura de firmas espectrales con
Espectro Radiómetro Portable.....9**

Aspectos Metodológicos para Campañas Campo.....15

Partes del Espectro Radiómetro Portable

Sensores:

BLACK-Comet BLK-C-SR

Este sensor es de color negro y nos permite medir longitudes de onda de 200 a 1080 nm, el sensor ha sido sujeto en una estructura protectora que la llamaremos coraza protectora, esta coraza nos permite el normal transporte del equipo tanto en actividades de campo como actividades de laboratorio, asegurando la integridad del equipo contra golpes y daños físicos.

Rosca de comunicación.- En la parte frontal del espectro radiómetro podemos observar que se encuentra una rosca cubierta con un capuchón negro de protección (SMA-905), esta rosca nos permite la comunicación del sensor con la fibra óptica.

Foco tipo LED (verde).- En la parte delantera también podemos encontrar un led de color verde, el cual no indica cuando el sensor esté listo para comunicarse con el computador.

USB hembra tipo B.- En la parte posterior del espectro radiómetro podemos encontrar una ranura con un puerto USB hembra de tipo B donde conectaremos el cable para comunicar el sensor con el computador.



Partes del Espectro Radiómetro Portable

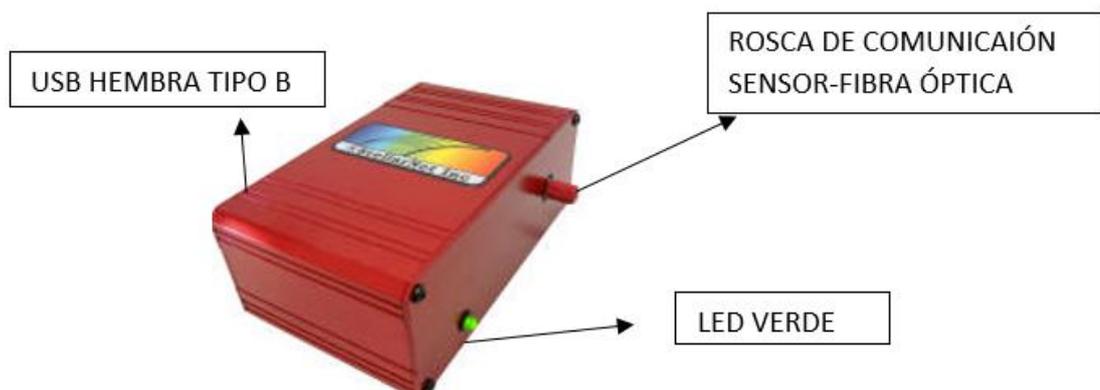
DWARF-Star Miniature

Este sensor es de color rojo y nos permite medir longitudes de onda de 1000 a 1700 nanómetros, este sensor es de menor tamaño con respecto al anterior y también ha sido sujeto en una estructura protectora que la llamaremos coraza protectora, esta coraza nos permite el normal transporte del equipo tanto en actividades de campo como actividades de laboratorio, asegurando la integridad del equipo contra golpes y daños físicos.

Rosca de comunicación.- En la parte frontal del espectro radiómetro podemos observar que se encuentra una rosca cubierta con un capuchón negro de protección (SMA-905), esta rosca nos permite la comunicación del sensor con la fibra óptica.

Foco tipo LED (verde).- En la parte delantera también podemos encontrar un led de color verde, el cual no indica cuando el sensor esté listo para comunicarse con el computador.

USB hembra tipo B.- En la parte posterior del espectro radiómetro podemos encontrar una ranura con un puerto USB hembra de tipo B donde conectaremos el cable para comunicar el sensor con el computador.



Partes del Espectro Radiómetro Portable

Fibra Optica F600-Y-UV-SR-NIR

La fibra óptica permite dirigir la luz o la cantidad de energía que reflejan los cuerpos hacia los sensores del espectroradiómetro, es decir ayuda a dirigir la luz para que traduzca dicha energía en una respuesta espectral, esta fibra óptica está construida de tal manera que permita el uso de ambos sensores al mismo tiempo, su forma es de tipo SMA-905.



Cable USB

El equipo dispone de 2 cables USB que nos permite la comunicación de los sensores con el computador, estos cables se caracterizan por poseer un extremo con USB macho tipo A y el otro extremo con un USB macho tipo B, con una longitud de 2 m.



NOTA:

LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA NO PUEDEN SER DOBLADOS PUESTO QUE SE PODRÍAN DAÑAR.

• Montaje

Paso 1.- Encendido del computador

Constatar el nivel de energía contenido en la batería, previendo el trabajo a realizarse, ya que en caso de campañas de capturas de información largas deberán tenerse en cuenta la posibilidad de llevar baterías extras para el computador.

Paso 2.- Conectar la fibra óptica

Retiramos los cauchos de protección en cada uno de sus tres extremos, de los cuales deben de ser retirados únicamente los correspondientes a los brazos cortos de la fibra, ya que, al final de la fibra aún debe estar protegido.

Deberemos identificar el membrete de los brazos para lo cual el brazo “F600-Y-VIS-SR” se deberá conectar al sensor “BLACK-Comet BLK-C-SR” (color negro) y el brazo “F600-Y-VIS-NIR”, con el sensor DWARF-Star Miniature (color rojo).

Paso 3.- Conectar los cables USB

Conectar los dispositivos USB tipo B macho en los respectivos espacios USB hembras ubicadas en el sensor, tanto en el negro como en el rojo. Dejando únicamente los puertos USB tipo A para conectarlo en el computador.

EL COMPUTADOR PORTÁTIL SE CONVERTIRÁ EN LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA PARA EL SENSOR, POR LO QUE ANTES DEL MONTAJE DE SUS COMPONENTES SE DEBER CONTAR CON UNA VERIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE BATERÍA QUE LLEVA EL COMPUTADOR, YA QUE EN TRABAJOS DE CAMPO NO PODRÍAMOS AUXILIARNOS DE FUENTES DE ENERGÍA NORMALES.



Montaje e Instalación del espectro radiómetro

• Instalación



EL SOFTWARE Y LOS DRIVERS PUEDEN SER DESCARGADOS DE LA PÁGINA WEB DE STELLARNET EN EL SIGUIENTE LINK DE ACCESO:
www.stellarnet.us/download.htm

Paso 1.- Instalación de SpectraWiz Spectrometer Software v5.3

Ejecutamos el instalador de SpectraWIZ que por lo general lleva el nombre de “SWUpdate-Install.exe”, la instalación es inmediata ya que el software es de requerimientos básicos de sistema, una vez instalado el software lo podemos correr en cualquier momento.

Paso 2.- Instalación de Drivers

Conectamos los puertos USB en cada uno de los sensores, observaremos que el led de color verde en los sensores no se prenden, (esto solamente sucede por primera vez cuando se conecta a un nuevo computador), luego el computador intentara buscar los respectivos drives sin embargo terminara en error, por lo que debemos ir al administrador de dispositivos “Device Manager”, ubicado en el panel de control de windows, ahí podremos reconocer los puertos USB ocupados por los espectro-radiómetros, por lo que deberemos dar un clic derecho sobre ellos y direccionar a la ubicación en la cual están los drivers, repetimos el mismo proceso para el segundo sensor, e inmediatamente luego de que se instale cada driver podremos observar que el led verde ubicado en la parte frontal del sensor se enciende.

EL PROCESO DE INSTALACIÓN ES ÚNICAMENTE POR PRIMERA VEZ YA QUE INSTALADOS LOS DRIVERS LAS SIGUIENTES VECES QUE CONECTEMOS LOS SENSORES AUTOMÁTICAMENTE SE ENCENDERÁ EL LED VERDE INDICÁNDONOS QUE ESTAMOS LISTOS PARA OPERAR.



STELLARNET BRINDA SOFTWARE PARA UTILIZAR LOS ESPECTROS RADIÓMETROS BAJO UN ENTORNO DE WINDOWS SEAN ESTOS DE 32 O 64 BITS, WINDOWS 8, WINDOWS 7, WINDOWS XP, EL SOFTWARE QUE SE UTILIZA POR DEFECTO SE LLAMA SPECTRAWIZ SPECTROMETER SOFTWARE

Procedimiento para la captura de firmas espectrales con Espectro Radiómetro Portable

• Captura de información espectral



UNA VEZ CONECTADOS LOS ESPECTRO-RADIÓMETROS AL COMPUTADOR DEBEREMOS COMPROBAR QUE LOS LEDS VERDES SE HALLAN ENCENDIDO CORRECTAMENTE.

Paso 1.- Comprobar conexión.

Se inicia el programa SpectraWiz, cuando realizamos esta acción por primera vez deberemos observar una ventana emergente que nos indicara que se han detectado dos puertos USB y que se han generado dos rutas de acceso, caso contrario si no se observa dicho mensaje es probable que exista algún error de comunicación.



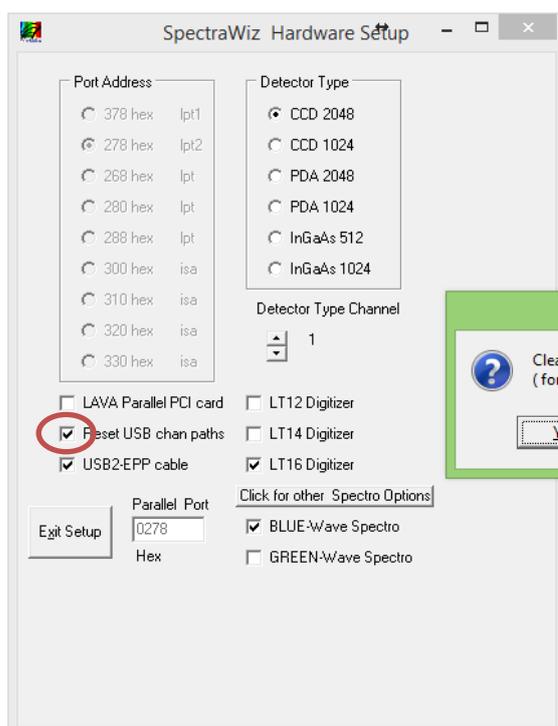
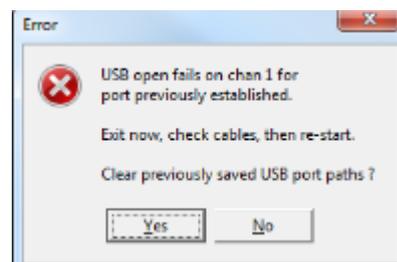
ADVERTENCIA:



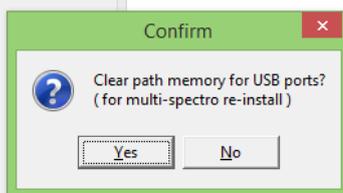
EL SOFTWARE GUARDA UNA RUTA ESPECÍFICA PARA CADA PUERTO USB EN RELACIÓN AL RADIÓMETRO, POR LO QUE EN CASO DE QUE EN UNA SIGUIENTE OCASIÓN, NO SE CONECTAN LOS ESPECTRO-RADIÓMETROS EN LOS MISMOS PUERTOS, GENERARAN ERRORES E INCOHERENCIAS EN LAS LECTURAS.

Procedimiento para la captura de firmas espectrales con Espectro Radiómetro Portable

En caso de que suceda este error se deberá cerrar el programa, desconectar los cables USB, e ingresar al software, esta vez nos dirigimos a la pestaña “Setup” y luego la opción “Interface port and detector”, ahí una vez más se desplegará una ventana emergente donde nos permite resetear las rutas de los puertos, por lo que deberemos tildar la opción “Reset USB chan Paths”.



HAY QUE CONSIDERAR QUE PARA QUE LAS CONFIGURACIONES TENGAN EFECTO SE DEBERÁ CERRAR EL PROGRAMA NUEVAMENTE.



LUEGO DE TENER INICIADO EL PROGRAMA DEBEREMOS OBSERVAR DOS LÍNEAS, UNA DE COLOR AZUL Y OTRA DE COLOR ROJO LA LÍNEA DE COLOR AZUL CORRESPONDEN AL SENSOR BLACK-COMET, Y LA LÍNEA ROJA CORRESPONDE AL SENSOR DWARF-STAR.

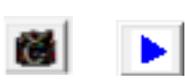


Procedimiento para la captura de firmas espectrales con Espectro Radiómetro Portable

Paso 2.-Configuración para la toma de datos

Dentro de todas las opciones que nos brinda SpectraWiz, detallamos en la siguiente tabla únicamente las que usaremos para capturar respuestas espectrales en vegetación.

TABLA 1

	Botón de Abrir archivos, nos permite buscar dentro de un árbol de carpetas, archivos con información espectral.
	Botón Guardar
	Botón Imprimir
	El botón Snapshot, nos captura una imagen instantánea que se esté visualizando, para liberar el snapshot, damos clic en “run”. Este botón tiene una función extra ya que nos permite hacer capturas de pantalla.
	El botón guardar espectro negro nos permite realizar la calibración al negro para capturas de reflectancia. Al dar un clic izquierdo calibramos al negro y al dar un clic derecho liberamos el negro, para continuar con la calibración.
	El botón guardar espectro de referencia, nos permite ajustar la calibración a los niveles de energía presentes en ese momento de la captura.
	Los botones de movimiento de datos nos permiten colocar una línea a lo largo de las mediciones y nos permiten leer valores de reflectancia en sitios específicos.
	El botón de zoom nos permite ajustar la vista
	El botón de auto escala nos permite ajustar la escala automáticamente a las lecturas, para su mejor visualización
	Los botos para la Integración de tiempo, permiten ajustar los valores en milisegundos acordes las condiciones de capturas de información, ayudándonos a evitar saturaciones del sensor.
	Las opciones de medición solar, color, y métodos químicos, son utilidades adicionales para el espectro radiómetro.

TODAS LAS OPCIONES MOSTRADAS EN LA, TABLA 1 SE ENCUENTRAN DISPONIBLES EN EL ENTORNO DEL SOFTWARE SPECTRAWIZ SPECTROMETER SOV5.3.



Procedimiento para la captura de firmas espectrales con Espectro Radiómetro Portable

Paso 3.- Opción de Reflectancia

Debemos escoger la opción propia de medidas de reflectancia, esta opción la podemos encontrar en la barra de menús con el nombre “%T:R”.



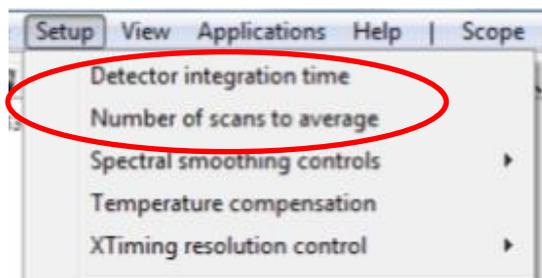
Paso 4.- Configuración de la toma de muestra

Deberemos proceder con la configuración de la toma de muestra, por lo que ajustamos el tiempo de integración, y el número de promedios de la toma según las recomendaciones dadas por StellarNet.

Para ajustar estas características debemos dirigirnos a la barra de menús opción “Setup”, e inmediatamente podremos observar las opciones de “Detector integration time” y “Number of scans to average”.



Recommendations	
Integration Time	Sample Average
1-100ms	10
100-500ms	5
500+ms	3



LUEGO DE QUE SE EJECUTEN CAMBIOS EN LA PROGRAMACIÓN PARA LA CAPTURA DE INFORMACIÓN SIEMPRE DEBERÁ REALIZARSE REFERENCIAS A NEGRO Y A BLANCO.

Procedimiento para la captura de firmas espectrales con Espectro Radiómetro Portable

Paso 5.- Referencia al negro y al blanco.

Para calibrar el equipo a las condiciones de luminosidad del momento se deben realizar las referencias al negro y al blanco.

La referencia al negro consiste en una encerrada del sistema para evitar ruidos adicionales, esta referencia se realiza luego de obstruir la entrada de luz a la fibra, con el caucho de protección de fibra que resultan convenientes en este proceso, presionamos con clic izquierdo en el botón con la bombilla negra, a continuación deberemos presionar el mismo botón con la diferencia de presionar el botón derecho del ratón, lo cual permite la liberación del espectro.



Para la referencia al Blanco deberemos usar la bombilla de color amarilla, para la toma de esta referencia se debe liberar el caucho de protección y ubicar una referencia de blanco, lo ideal debería ser poseer un blanco de referencia, sin embargo para fines funcionales se puede usar hojas de papel bond completamente blancas.

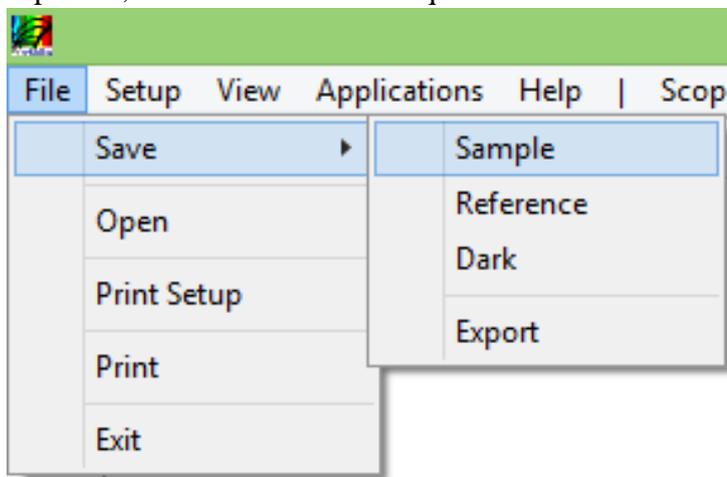


Procedimiento para la captura de firmas espectrales con Espectro Radiómetro Portable



POR FINES CONCERNIENTES DE POST-PROCESO ES NECESARIO GUARDAR LA CALIBRACIÓN DEL BLANCO Y EL NEGRO.

Para guardar una captura espectral deberemos dirigirnos a la barra de menús en la opción “File”, luego escogemos la opción “Save”, consecuentemente “Sample”, y se abrirá una ventana de exploración direccionada por defecto a C:\Program Files\Stellarnet\SpectraWiz, en donde sugerimos crear una carpeta para cada campaña espectral, codificada de manera que nos resulte fácil nombrarla e identificarla.



ES IMPORTANTE QUE NO SE PRODUZCA SOMBRA AL MOMENTO DE CAPTURAR LA REFERENCIA AL BLANCO

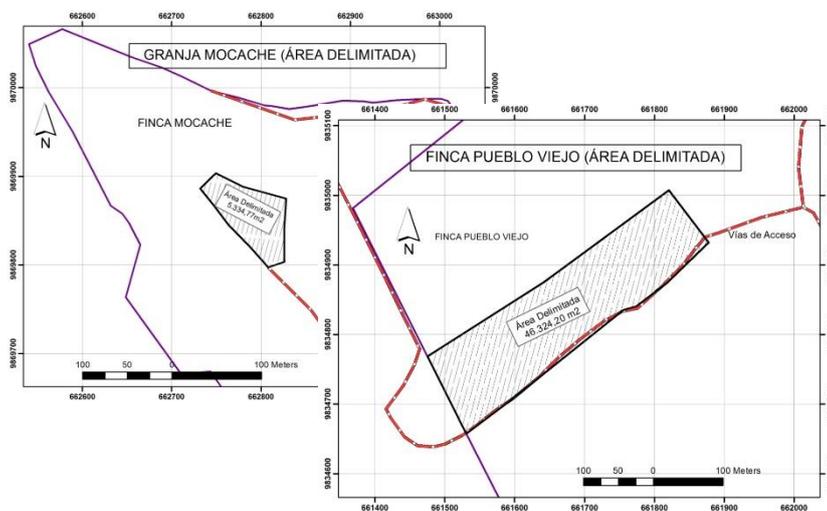
ES NECESARIO REPETIR LA CALIBRACIÓN DEL BLANCO Y EL NEGRO POR CADA SUB-MUESTRAS, INCLUSO SI LAS CONDICIONES DE LUZ CAMBIAN DRÁSTICA O TENUAMENTE SE TENDRÁ QUE REALIZAR NUEVAMENTE LAS CALIBRACIONES AL BLANCO Y AL NEGRO.



AL SER DOS SENSORES LOS QUE ESTÁN EN JUEGO, LA INFORMACIÓN QUE GUARDEMOS ESTARÁ COMPUESTA POR DOS ARCHIVOS “-c1” QUE CORRESPONDE AL PRIMER SENSOR Y “-c2” AL SEGUNDO SENSOR.

○ Delimitación de áreas.

Para llegar a representar una superficie con información espectral, deberemos proceder a delimitar el área de interés.



CON FINES DE ASEGURAR PRECISIÓN EN LOS LEVANTAMIENTOS SE SUGIERE UTILIZAR MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO QUE PERMITAN REALIZAR EL TRABAJO CON RAPIDEZ Y FLEXIBILIDAD, EN ESTE CASO SE SUGIERE UTILIZAR DGPS (GPS-DIFERENCIALES).

Aspectos Metodológicos para Campañas Campo

◦ Cálculo de la población y determinación del tamaño muestral.

Con la tecnología con la que contamos, ésta no nos permitirá capturar información de toda un área, asumimos que es importante la toma de muestras que nos permitan representar una población; en esa lógica de poder decir un número de muestras nos auxiliaremos en la formula típica para el cálculo de la muestra finita

$$n = \frac{Z^2 pq N}{NE^2 + Z^2 pq}$$

N = Tamaño de la población

p = probabilidad de que un evento suceda.

q = probabilidad de que el evento no suceda.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que. Si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1.96 (como más usual) o en relación al 99% de confianza equivale 2,58, valor que queda a criterio del investigador.

E = Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía. Valor que queda a criterio del encuestador.



AL MOMENTO DE
DEFINIR CUÁL ES LA
UNIDAD DE NUESTRA
POBLACIÓN

SUGERIMOS CONSIDERAR LA
RESOLUCIÓN ESPACIAL DEL
SATÉLITE LANDSAT (30*30), EN BASE
A LA IMPORTANCIA Y
DISPONIBILIDAD DE ESTAS
IMÁGENES EN TODO EL MUNDO.

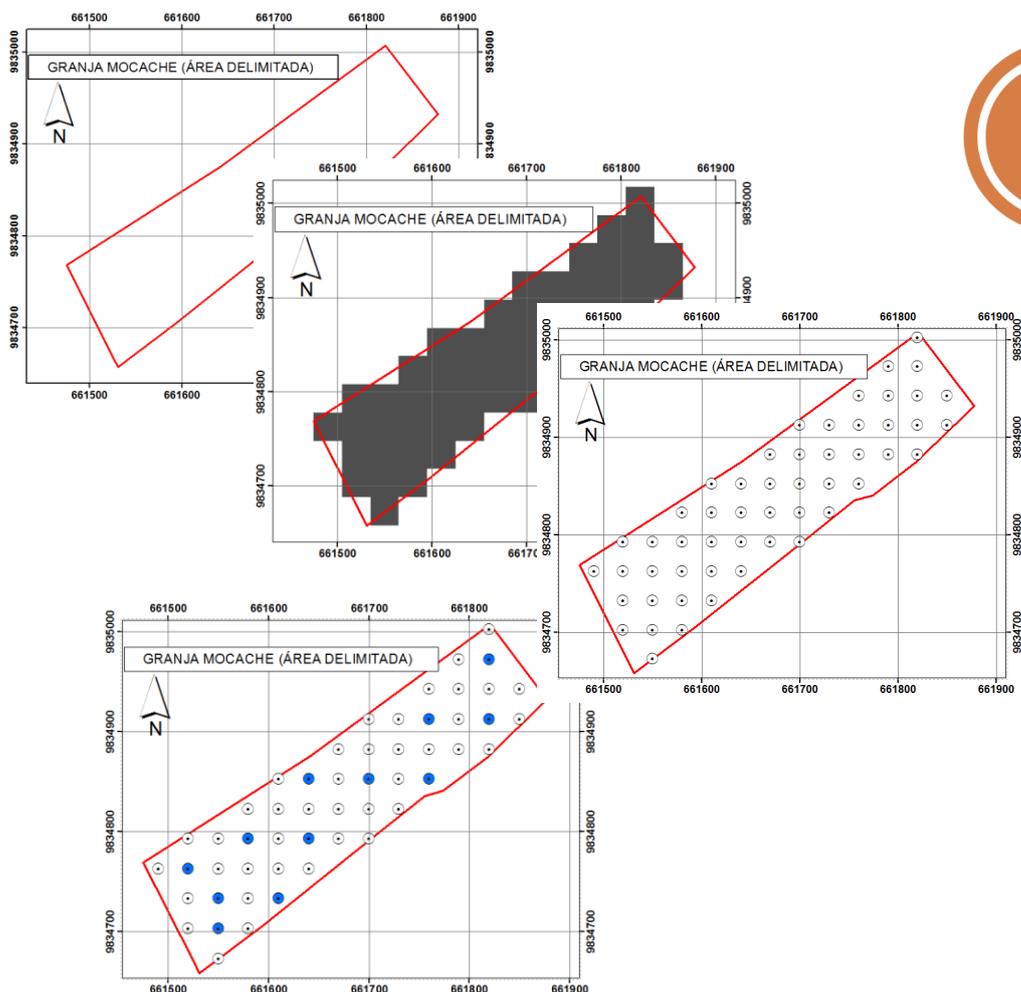


CON RESPECTO AL
VALOR ASIGNADO AL

ERROR MUESTRAL CONSIDERAMOS QUE EN
BASE A LA HOMOGENEIDAD DEL TERRENO Y DE LA MISMA MANERA
HOMOGENEIDAD DE LAS ÁREAS DELIMITADAS AJUSTAMOS UN VALOR
DE 0.25, EQUIVALENTE AL 25% DE ERROR QUE POR DECIRLO ASÍ
OBTENDREMOS UN 75% ACEPTABLE DE FIABILIDAD EN LAS MUESTRAS.

○ Distribución de la muestras

Una vez calculado el tamaño de la muestra deberemos tratar de distribuirla a lo largo y ancho del área ya delimitada, por lo que proponemos realizar geoprocesos que permita la conversión del área delimitada de polígono a una capa raster, con la propiedad de que el tamaño de pixel de la capa raster de salida sea de 30, luego realizamos la conversión del raster a capa vector, esta vez a capa de puntos permitiendo visualizar los sitios posibles a ser muestreados.



LA FORMA DE ESCOGER LOS PUNTOS A SER MUESTREADOS CONSISTE EN DISTRIBUIR DE UNA MANERA SISTÉMICA EN ZIGZAG.

Aspectos Metodológicos para Campañas Campo

○ Método para recolección de datos

En primer lugar consideraremos que una muestra abarca 9 m² y está compuesta de 6 sub-muestras que abarca 1,5 m² cada una, teniendo así que recorriendo 18 m en línea recta con una huella en piso de 0.5 m, para obtener 9 m².

De la misma manera para la sub-muestra tendremos que recorrer 3 m, en línea recta con una huella en piso de 0.5m, y obtendremos 1,5m².

En cuestión de tiempos, hemos calculado que cada 0.5 segundos el programa muestra respuesta en pantalla, y según el procedimiento propuesto cada 3 metros deberemos guardar una sub-muestra en aproximadamente 4 segundos, siendo en total alrededor de 24 segundos los que nos deberemos demorar en recorrer los 18 metros.



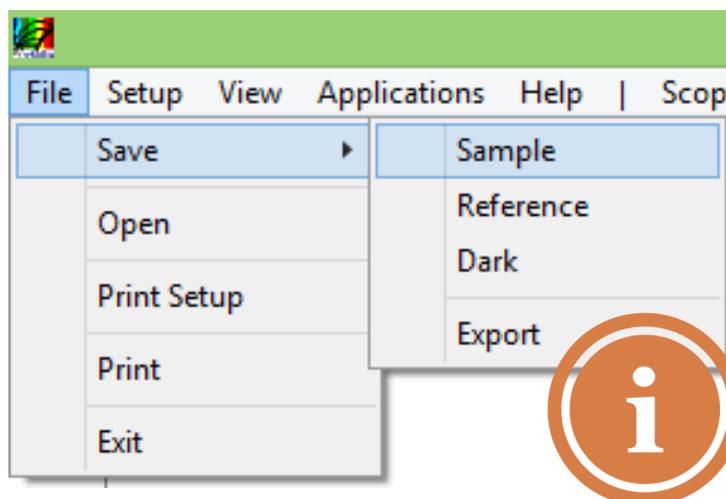
PARA CALCULAR LA HUELLA QUE PROYECTA LA FIBRA DE VIDRIO (FOV), CONSIDERAMOS QUE EL ÁNGULO DE LA FIBRA ES DE 25° Y A UNA ALTURA DE 1.20M PROYECTA EN EL PISO UNA HUELLA DE 0.50 CENTÍMETROS.

○ Guardado y etiquetado de información

En cuestión de tiempos, hemos calculado que cada 0.5 segundos el programa muestra respuesta en pantalla, y según el procedimiento propuesto cada 3 metros deberemos guardar una sub-muestra en aproximadamente 4 segundos, siendo en total alrededor de 24 segundos los que nos deberemos demorar en recorrer los 18 metros.

Para lo cual en el software deberemos tener creadas las carpetas necesarias en la ubicación por defecto ubicada en C:\Program Files\StellarNet\SpectraWizpara, para almacenar, aquí sugerimos que se cree una primera carpeta con el nombre codificado de la sesión de campaña, al interior de esta nueva carpeta creamos carpetas con un número igual al calculado para el número de muestras, en secuencia numérica consecutiva, para que finalmente sean almacenadas al interior de cada carpeta 6 sub-muestras, además de una referencia de blanco y negro de ser necesario para cada una.

Para guardar una captura espectral deberemos dirigirnos a la barra de menús en la opción “File”, luego escogemos la opción “Save”, consecuentemente “Sample”, y se abrirá una ventana de exploración direccionada por defecto a



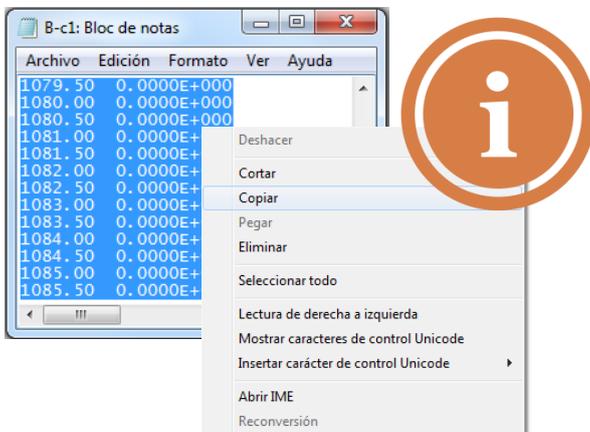
COMO SE MENCIONÓ ANTERIORMENTE CADA MUESTRA, ESTARÁ CONFORMADA POR 6 SUB-MUESTRAS, Y CADA SUB-MUESTRA DEBERÁ SER TOMADA A LO LARGO DE 3 METROS EN LÍNEA RECTA Y EN UN LAPSO DE 4 SEGUNDOS.

Aspectos Metodológicos para Campañas Campo

○ Post-proceso de firmas espectrales

Ya que el equipo captura respuestas espectrales y a nosotros nos interesan valores de reflectancia, todos los valores capturados necesitan ser procesados, para lo cual nos ayudaremos de una hoja de Excel que nos permita realizar cálculos.

Podemos realizar los cálculos gracias a que el formato de archivo en que SpectraWiz guarda los archivos (.TRM), se lo puede abrir y visualizar en una “blog de notas”, o cualquier lector de texto, permitiendo fácilmente la importación de estos valores en las hojas de cálculo.



Copiamos los valores correspondientes a la muestra, al blanco y al negro, todos ellos en sus pestañas correspondientes de la hoja de cálculo preparada, en donde podremos observar cómo se dibuja la gráfica espectral.



Aspectos Metodológicos para Campañas Campo

Almacenamiento de Firmas Espectrales.

- **Metadato Espectral**

Los metadatos forman parte primordial en temas de adquisición de información, en especial información de campo, esta información nos permite generar una base de datos que catalogue la información proveniente de instrumentos que dependen de muchas variables del medio.



METADATO ESPECTRAL




FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACION ESPECTRAL			
1.1 Espectro Radiometro			
1.2 Operador			
1.3 Fecha de Muestreo			
1.4 Hora			
1.5 Objeto Muestreado			
1.6 Descripción			
2.1 Ubucación	CoorX	CoorY	Altitud
3.1 FOTO			3.2 FOTO 2
	1.7 Campaña Codigo		
	1.8 Firma N°		
Condiciones Meteorológicas	Estacion mas cercana	Obsevación en campo	
4.1 Temperatura			
4.2 Humedad			
4.3 Nubosidad			
4.4 Radiación Solar			
4.5 Heliofania			

.....

Operador

.....

Supervisor



ESTE MANUAL SE ENCUENTRA ELABORADO GRACIAS A LA TESIS:
ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIONES PARA LA
CAPTURA DE “FIRMAS ESPECTRALES” EN CAMPO, VALIDADA
EN DOS GRANJAS EXPERIMENTALES.

REALIZADO POR MATEO DAMIAN LOPEZ ESPINOZA EN
2014, CON EL AUSPICIO DE PROMAS-UNIVERSIDAD DE
CUENCA, Y LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS,
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA