

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



## **ESTUDIO DE LA TECNOLOGIA DE INSTRUMENTACION Y MEDICION EN LA AGRICULTURA DE PRECISION EN EL PERU**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**JULIO CESAR BUITRON SALVADOR**

**PROMOCIÓN  
1996 - II**

**LIMA – PERÚ  
2011**

**ESTUDIO DE LA TECNOLOGIA DE INSTRUMENTACION Y MEDICION EN  
LA AGRICULTURA DE PRECISION EN EL PERU**

A mis padres: Erlinda y Victor  
A mis hermanos: Ximena, Marleny y Victor  
Para: Tatiana

## SUMARIO

Mientras que la agricultura de precisión es cada vez más utilizada en los Estados Unidos, Europa y algunos Países Latino Americanos en desarrollo. En el caso del Perú, los agricultores siguen utilizando técnicas tradicionales debido a que no están muy difundidas las Herramientas de la Agricultura de Precisión.

El presente informe tiene como objetivo realizar un estudio y análisis de las tecnologías usadas en la agricultura de precisión, de modo que el agricultor pueda obtener información que le permita mejorar la productividad de sus campos de cultivo. Para este propósito se revisaran los conceptos generales de la agricultura de precisión, de SIG (Sistemas de Información geográfica), GPS (Sistema de Posicionamiento global) y se enfatizará el estudio y análisis de la Percepción Remota.

La percepción remota es usada para el análisis de los campos de cultivos mediante imágenes multiespectrales que permiten la obtención de índice de vegetación como NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) que nos da el estado de biomasa del cultivo ó del suelo. La percepción remota usa sensores cuyas resoluciones espectrales van en diferentes bandas (Banda 1 a Banda 8) cuyas longitudes de onda están en la luz visible, infrarrojo cercano, pancromático y térmico. De esta manera, la percepción remota adquiere las imágenes a través de satélites o colocando cámaras multiespectrales en vehículos no tripulados.

Posteriormente a los conceptos mostrados, se incluirá información relacionada a los instrumentos de medición que se utilizan en la percepción remota, así como la comparación de tipos de sensores (CMOS y CCD) y de cámaras multiespectrales usadas.

Y finalmente en el informe se describirá un caso de estudio que corresponde a la adquisición de imágenes multiespectrales en la comunidad de Chacllabamba Alta en el departamento de Cuzco. Esta descripción, incluirá la descripción de la plataforma y sensores para realizar la captura de imágenes.

## ÍNDICE

### PRÓLOGO

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Antecedentes del problema.....	3
1.2	Descripción del problema.....	4
1.3	Objetivo del informe.....	4
1.4	Limitaciones del informe.....	5
1.5	Descripción de la Agricultura de Precisión.....	5
1.6	Diferencias con la Agricultura de Tradicional.....	6
1.7	Actividades de la Agricultura de Precisión.....	7

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1	Introducción.....	9
2.2	Sistema de Posicionamiento Global.....	9
2.2.1	Sistema de Medida de GPS.....	10
2.2.2	Sistema de Corrección de Señales de GPS.....	12
2.3	Sistema de Información Geográfica (SIG).....	18
2.3.1	Definición.....	18
2.3.2	Representación de Datos.....	18
2.3.3	Captura de Datos.....	19
2.3.4	Software SIG.....	20
2.3.5	Elaboración de Tipos de Mapas.....	20
2.4	Sistema de Percepción Remota.....	22
2.4.1	Características de los Sistemas de Percepción Remota.....	24
2.4.2	Plataforma de Aeroplanos-Helicópteros.....	37
2.5	Índices de Vegetación.....	41

### CAPÍTULO III

#### INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PARA LA AGRICULTURA DE PRECISION

3.1	Introducción.....	43
3.2	Plataforma (Vehículos no tripulados) con sensores de control.....	44
3.3	Cámaras Multiespectrales (Sensores CCD y CMOS).....	47
3.3.1	Comparación de 3 Modelos de Sensores.....	48
3.3.2	Características de la Cámara Tetracam.....	49
3.3.3	Sensor de Cámara Tetracam.....	51
3.4	GPS que se instala con la cámara ó equipo de computo (sensor receptor).....	55
3.5	Equipo Intel Atom FITCP 2.....	57
3.6	Software.....	58
3.6.1	PixelWrench2.....	58
3.6.2	SensorLink.....	59
3.7	Almacenamiento de Imágenes.....	59
3.8	Costos.....	60
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>CASO DE ESTUDIO: INSTRUMENTACIÓN DE PRECISIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES.</b>		
4.1	Introducción.....	61
4.2	Presentación del Asunto de Estudio.....	61
4.3	Implementación de la solución del caso de estudio.....	63
4.3.1	Esquema de la solución propuesta.....	63
4.3.2	Descripción de la solución propuesta.....	64
4.4	Resultados de Caso de Estudio.....	67
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>72</b>
<b>ANEXO A</b>		
<b>Pines del Sensor CMOS OV3620.....</b>		<b>73</b>
<b>ANEXO B</b>		
<b>Sensor CCD FTT1010-M en la Cámara Dalsa 1M30.....</b>		<b>77</b>
<b>ANEXO C</b>		
<b>Detalles Técnicos de Cámara MS 4100.....</b>		<b>82</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>84</b>

## PROLOGO

Este informe trata sobre el estudio y análisis de las tecnologías usadas en la Agricultura de Precisión. El estudio comprende la revisión de conceptos generales de la agricultura de precisión, de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Asimismo el informe incluye en detalle el estudio y análisis de la percepción remota.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), permite que los agricultores puedan navegar a través de un campo, monitorear y mapear con precisión los mismos.

El Sistema de Información Geográfica (SIG), permite integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada, así mismo permite a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

Mediante la Percepción Remota, se adquieren las imágenes espectrales, que son capturadas a través de satélites o colocando cámaras en vehículos no tripulados. Para los agricultores una de las interrogantes es seleccionar el mejor método de adquisición de estas imágenes.

Este informe comprende los siguientes capítulos:

En el Capítulo I se describe el Problema de Mejora de Productividad de Agricultura en el Perú así como se explica el concepto de Agricultura de Precisión y como se utilizarían estas técnicas para la mejora de la productividad. Así mismo se listan las herramientas de la Agricultura de Precisión.

En el Capítulo II se detalla las características del Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y del Sistema de Información Geográfica (SIG). Asimismo se detalla la forma de trabajo de la percepción remota para la adquisición de imágenes en la Agricultura de Precisión, especialmente al momento del sembrío y en el proceso de crecimiento de dicho sembrío que permitirá mejorar la productividad.

En el Capítulo III se detalla las características de los instrumentos usados en la captura de Imágenes (Percepción Remota) a baja altura. Así mismo se realiza la descripción electrónica del sensor seleccionado para el caso de Estudio.

En el Capítulo IV se describe el caso de estudio, que corresponde a la adquisición de imágenes multiespectrales en la comunidad de Chacllabamba Alta en el departamento de Cuzco. Esta descripción, incluirá los instrumentos que se han seleccionado en el capítulo III así como el diagrama de proceso que describe el procedimiento para la adquisición de imágenes a baja altura. En el Capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones realizadas en el estudio.



# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### **1.1 Antecedentes del problema**

El rápido crecimiento de la agricultura de precisión ha provocado la investigación en muchas áreas que incluyen: la evaluación agronómica de estas tecnologías, el desarrollo de los usos apropiados de las tecnologías, los patrones demográficos de uso de estas tecnologías, y los beneficios económicos y ambientales de las tecnologías. La investigación demográfica se ha centrado en: tamaño de la finca, la experiencia de la agricultura, la educación, el acceso a la información, la ubicación de la granja, y los atributos físicos de la finca, como la variabilidad de los tipos de suelos y cultivos. La mayoría de las investigaciones económicas en la agricultura de precisión se ha centrado en la rentabilidad de las herramientas específicas de determinados productos básicos.

Muy poca atención se le ha dado a las percepciones y las razones de actitud de los agricultores a adoptar estas tecnologías. La Evaluación de las percepciones y actitudes de los agricultores puede llevar a comprender por qué ellos rechazan a adoptar tecnologías más allá del beneficio económico versus lo que la industria y los investigadores puedan centrarse en proporcionar tecnologías. Por otra parte, la omisión de las actitudes de los productores hacia las tecnologías estudiadas, pueden dar lugar a resultados sesgados.

Las tecnologías de agricultura de precisión se utilizan para administrar áreas específicas de los campos y lograr metas a largo plazo, proporcionando información histórica sobre las variaciones del suelo y los cultivos en los campos de los agricultores. Algunos investigadores consideran la agricultura de precisión, como parte del contexto más amplio de los Sistemas de Información (SI) en la agricultura. Tal y como está no es un producto homogéneo. Por el contrario, la agricultura de precisión es el uso de las diversas combinaciones de las herramientas utilizadas para la mejora estratégica, táctica y operativa de la producción agrícola [1].

El potencial de las herramientas de agricultura de precisión, está cambiando fundamentalmente la forma de tomar decisiones de producción de los agricultores. La

agricultura de precisión comprende herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG) y Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que se puede utilizar en una variedad de combinaciones que se ajusten a los objetivos y las operaciones del administrador del campo agrícola. La curva de aprendizaje de estas tecnologías y la inversión inicial de cada una de las herramientas, complican la decisión de adopción del agricultor. Parte de estos factores es que la agricultura de precisión no es una herramienta en particular, los agricultores deben decidir qué herramientas y software proporcionará la eficiencia de sus situaciones. [11]

## **1.2 Descripción del problema**

Actualmente el Perú cuenta con una variedad de productos agrícolas de mucha demanda y producción y que a su vez se encuentran cultivados en una diversidad de climas, suelos y zonas geográficas en donde la agricultura usa los métodos tradicionales para el cultivo, monitoreo del crecimiento del cultivo, muestreo de los suelos y la cosecha como producto final.

Para obtener información de los suelos en los campos de cultivo y el monitoreo de los cultivos propiamente se usa la tecnología de la percepción remota para obtener imágenes multiespectrales acompañada de los sistemas de posicionamiento global (GPS) y el Sistema de información geográfica que luego de ser analizados permitirá optimizar el uso de insumos.

Para los agricultores la interrogante es como obtener las imágenes multiespectrales. Estas imágenes multiespectrales deberán tener una mejor resolución de modo que facilite el proceso de análisis de sus áreas de cultivo.

Dentro de las variables a analizar están: la selección técnica del sensor adecuado para la obtención de imágenes, las condiciones ambientales de trabajo y los costos.

## **1.3 Objetivo del informe**

Realizar un estudio de la tecnología de Instrumentación y Medición en la “Agricultura de precisión” y en detalle revisar la tecnología necesaria para la captura de imágenes de los campos de cultivo (Percepción Remota). Adicionalmente, se presentará un caso práctico de aplicación de la tecnología necesaria para la captura de imágenes multiespectrales, así como el diagrama de bloques con el procedimiento de captura de imágenes.

La percepción remota es usada para el análisis de los campos de cultivos mediante imágenes multiespectrales que permiten la obtención de índice de vegetación como NDVI que nos da el estado de biomasa del cultivo ó del suelo.

Es por ello que se usará la Agricultura de Precisión como una tecnología, y sus herramientas para recopilar información en tiempo real sobre lo que suceda o pueda suceder en los suelos y en el cultivo, para realizar la toma de decisiones de manera oportuna que permita obtener un incremento significativo en los rendimientos por unidad de área, disminuir costos de producción y reducir los impactos ambientales sobre los Recursos Naturales en los que se sustenta la producción agropecuaria.

#### **1.4 Limitaciones del informe**

Las principales limitaciones del presente trabajo se detallan a continuación:

- a) Se hace el estudio con 2 tipos de constelaciones de Satélites LANDSAT y SPOT que son los más conocidos, más no comprende la revisión de todas las constelaciones de satélites existentes para el servicio de la Agricultura de Precisión.
- b) El caso de estudio está enfocado solo a la aplicación de la tecnología de Percepción Remota que es parte de la Agricultura de Precisión.
- c) Sólo se mostrará el tema de costos para la propuesta de adquisición de imágenes.

#### **1.5 Descripción de la Agricultura de Precisión**

La Agricultura de Precisión es una tecnología de información basada en el posicionamiento satelital y que consiste en obtener datos geo-referenciados en los lotes para un mejor conocimiento de la variabilidad de rendimiento expresado por los cultivos en diferentes sitios como loma, media loma y bajo; se obtiene mejor respuesta en lotes que posean alta variabilidad de potencial de rendimiento ya sea por relieve, historia del lote (secuencia de cultivos y fertilizaciones anteriores, etc). También con esta tecnología es posible ajustar la mejor dosis de fertilización para cada sitio o lote específicamente o el mejor híbrido, variedad, densidad de siembra, espaciamento entre hileras, etc. Los beneficios se pueden resumir valorando el análisis y diagnóstico posible de realizar partiendo de más de 800 datos de rendimiento por hectárea versus el análisis partiendo del promedio de rendimiento de todo un lote que ofrece la agricultura tradicional sin la ayuda del monitor de rendimiento satelital.

Los datos recogidos a través de las diferentes capas de información posibles como son: mapas de rendimiento de cultivos anteriores, fotografía aérea, mapas topográficos, imágenes satelitales, experiencias anteriores del productor o bien mapas de suelo de áreas homogéneas, todo ello nos permite definir dentro de un lote, sitios con potencialidad de rendimiento muy diferentes, bien definidas. Si el área y las diferencias de rendimiento justifican agronómica y económicamente el tratamiento diferencial de los insumos, se

comienza con la segunda etapa que consiste en la caracterización de los ambientes y posterior diagnóstico de la aplicación de insumos (semilla y fertilizante) en forma variable, estos cambios de dosis y densidades pueden lograrse dado que existen en el mercado navegadores - actuadores y GPS que posibilitan realizar esos cambios en tiempo real siguiendo prescripciones agronómicas previamente cargadas en máquinas inteligentes.

La aplicación variable de insumos siguiendo una prescripción agronómica puede realizarse en forma automática con el uso del GPS o en forma manual por medio de un operario conocedor de la variabilidad espacial del lote.

La habilidad de manejar variaciones en la productividad dentro del lote y maximizar los rendimientos han sido siempre los deseos de los productores, especialmente de aquellos con limitaciones en el recurso suelo. El relativamente reciente desarrollo de microprocesadores y otras tecnologías electrónicas son nuevas herramientas disponibles para ayudar a los productores a alcanzar su meta. El concepto de optimizar la producción basada en la variabilidad dentro de los lotes es tan fundamental que esta tecnología llegó para quedarse. Los productores van a esforzarse continuamente para mejorar los beneficios económicos minimizando el impacto ambiental. [6]

### **1.6 Diferencias con la Agricultura Tradicional**

La Agricultura de Precisión utiliza tecnologías y conceptos diferentes con respecto a la agricultura tradicional. Una de las grandes diferencias es el manejo localizado de las tecnologías, en función de la adquisición de datos sobre la física del suelo, química del suelo y rendimientos de los cultivos.

La Agricultura de Precisión facilita el manejo de la variabilidad espacial y temporal de los suelos y cultivos. Así también, permite el aumento de la productividad y de la calidad ambiental, mediante la comprensión de la variabilidad y de la tecnología. Hace necesario también que todos los componentes del sistema sean ejecutados, entre ellos están el muestreo del suelo, y caracterización y análisis del mismo, la interpretación de los datos recolectados y la toma de decisiones.

La Agricultura de Precisión consiste en la utilización de modernas herramientas que permiten, por medio del análisis de datos obtenidos en diferentes localidades y en épocas diferentes, optimizar la aplicación de insumos agrícolas y racionalizar el uso de la tierra, promoviendo la reducción de costos de producción e impactos ambientales.

Ahora bien, en el siguiente cuadro comparativo Tabla 1.1 se sintetiza los beneficios de la agricultura de precisión en relación con la agricultura tradicional en tres usos directos: aplicaciones de pesticidas, abonos y mapas de rendimiento. [20]

Tabla 1.1 Cuadro comparativo de la Agricultura de Precisión con la Agricultura Tradicional

Agricultura Tradicional	Agricultura de Precisión
<b>Aplicación de pesticidas</b>	
Trata todo el campo de cultivo como una superficie uniforme con necesidades similares	Gracias al tratamiento de Imágenes aéreas, junto con las técnicas de digitalización, GPS y GIS, pueden elaborarse un mapa del terreno con diferentes zonas detalladas, pudiendo prescribir la cantidad exacta de pesticida a aplicar en cada zona, según sus necesidades.
Empleo de banderas humanas para señalar a los acroplanos donde aplicar los pesticidas	Empleo de GPS para indicar a los acroplanos donde descargar los pesticidas, y en qué cantidad, gracias a los mapas previamente elaborados.
<b>Aplicación de Abonos</b>	
La cantidad de abono a aplicar se determina por medio de la composición de diferentes muestras del terreno: al final requiere una aplicación uniforme de lo que se cree una buena estimación de la cantidad apropiada (se trata de una media).	Permite una aplicación específica según las necesidades de cada región, con dos métodos: Empleo de DGPS para dividir el terreno según una rejilla, con celdas de tamaño determinado por el usuario, posibilitando el acceso preciso a un punto concreto de cada celda, recoger una muestra y aplicar el abono estimado para cada celda. Empleo de fotografías aéreas. Estas se digitalizan, georreferencian, y basándose en sus características se determina la cantidad de abono a aplicar en cada punto exacto del terreno. DGPS se encargará posteriormente de dar cada coordenada al vehículo de abono, así como la cantidad a aplicar.
<b>Mapas de Rendimiento</b>	
Sólo es posible sospechar que unas zonas producen más que otras; un estudio detallado supondría un elevado esfuerzo y muchas horas de trabajo.	Durante la cosecha, mediante la combinación de DGPS y sensores de grano, es posible recopilar los datos necesarios para elaborar un mapa preciso y detallado del rendimiento del cultivo.
Decidir si una zona del terreno produce por encima de los costos, es una labor arriesgada.	Las técnicas de variabilidad temporal junto con los mapas de rendimiento y los costes variables permiten tomar una decisión adecuada acerca de qué zonas sería mejor no cultivar, ya que producen gastos.

Fuente: Cárdenas y García, Universidad del País Vasco, Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao, 2000

### 1.7 Actividades en la Agricultura de Precisión

Existen numerosas prácticas o actividades de manejo consideradas parte de la Agricultura de Precisión, en sus diferentes etapas de aplicación. Estas prácticas son

realizadas a través de las diferentes tecnologías que usa la Agricultura de Precisión e incluyen tanto actividades de terreno como de oficina. En la Tabla 1.2 se presentan las principales etapas o pasos para la aplicación de la Agricultura de Precisión, las tecnologías involucradas y las actividades realizadas.

En la Agricultura de Precisión existen dos aproximaciones para la aplicación variable de insumos. La primera de ellas se basa en el muestreo y mapeo de los factores de producción a ser manejados en forma diferencial (fertilidad del suelo, malezas, etc.) y la posterior elaboración de mapas de prescripción para la aplicación variable de los insumos (fertilizantes, herbicidas, etc.). La segunda aproximación es el de sensoriamiento directo del suelo y/o el cultivo para la aplicación inmediata de los insumos en forma variable. El uso de una u otra dependerá del nivel tecnológico disponible y del costo de operación involucrado. [21]

Tabla 1.2 Etapas de la Agricultura de Precisión y sus Actividades

<b>ETAPA</b>	<b>TECNOLOGÍA INVOLUCRADA</b>	<b>ACTIVIDADES</b>
Recolección e ingreso de datos.	Sistemas de posicionamiento global (GPS). Sistemas de información geográfica (SIG). Instrumentos topográficos. Sensores remotos. Sensores directos.	Medición de la topografía del suelo. Muestreo de suelos en grilla. Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades. Monitoreo de rendimientos. Medición directa de propiedades del suelo y cultivos. Sensoriamiento remoto de suelos y cultivos. Digitalización de mapas.
Análisis, procesamiento e interpretación de la información.	Programas de SIG. Sistemas expertos. Programas estadísticos. Experiencia del operador.	Análisis de dependencia espacial. Confeción de mapas de evaluación. Confeción de mapas de prescripción. Otras.
Aplicación diferencial de insumos.	Tecnología de dosis variables. Pulverización asistida por GPS. Programas computacionales.	Aplicación variable de nutrientes. Aplicación variable de plaguicidas. Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas. Otras.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

#### **2.1 Introducción**

La Agricultura de Precisión se fundamenta en la incorporación y uso de tecnologías para mejorar los rendimientos en el sector agrícola. De esta manera, han surgido una serie de tecnologías para apoyar, mejorar y optimizar los distintos procesos agrícolas.

Es así como los sensores electrónicos han entrado a formar parte de las tecnologías de la Agricultura de Precisión. Así mismo los sistemas de posicionamiento global son otro de los componentes fundamentales en la agricultura de precisión.

A continuación se presentan las tecnologías más representativas y usadas en el campo de la agricultura de precisión.

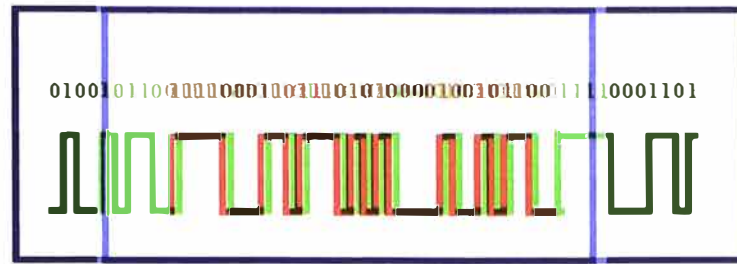
#### **2.2 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**

El uso de la Tecnología GPS está revolucionando la industria de la Agricultura ayudando a los productores de hacer cosas como navegar a través de un campo, monitorear y mapear con precisión la altura de sus fincas. Pero ¿qué es el GPS y por qué se necesita en los campos de cultivo?

El Sistema de Posicionamiento Global es en realidad parte de un sistema más grande llamado el Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS). GNSS es el término para todos los sistemas de constelación de satélites que proporcionan los datos de posicionamiento. Actualmente, sólo GPS y GLONASS caen bajo el paraguas del GNSS. GLONASS es operado por la Federación de Rusia y el GPS es operado por el Departamento de Defensa de EE.UU., pero ambos están disponibles para los usuarios de todo el mundo. El Sistema de Posicionamiento Global ha estado en existencia más larga, por lo que su acrónimo ha adquirido mayor visibilidad y reconocimiento. De hecho, uno podría argumentar que el GPS se ha convertido en el término común para todos los sistemas de constelación de satélites. GPS es un sistema de navegación basado en el espacio formado por una constelación de 24 satélites y sus estaciones terrestres. GPS utiliza estos satélites como puntos de referencia para calcular la posición exacta de una







CORRELACIÓN PARCIAL DE LOS CÓDIGOS PRN  
DEL RECEPTOR Y EL SATÉLITE

Figura 2.2 Sincronización de tiempo correlacionado

Fuente: <http://www.upv.es/satelite/trabajos/pracGrupo4/sistmed.htm>

A continuación, se presentan las relaciones matemáticas para la determinación de las distancias, definidas por:

$$R_i = \Delta T \times C \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$R_i^{\hat{}} = \Delta T_{medido} \times C \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\Delta T_{medido} = \Delta T + \tau \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

$$R_i^{\hat{}} = R_i + \varepsilon \Rightarrow \varepsilon = C \times \tau \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$$R_i = R_i^{\hat{}} - C \times \tau \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Donde:

$R_i$  = Distancia real del satélite y el receptor GPS

$R_i^{\hat{}}$  = Pseudodistancia

$\Delta T$  = Tiempo de propagación

$\Delta T_{medido}$  = Tiempo medido

$C$  = Velocidad de propagación

Las coordenadas de cada satélite son conocidas, se tienen cuatro ecuaciones de la forma:

$$\llbracket (X_i^{\hat{}} - U_x)^2 + (Y_i^{\hat{}} - U_y)^2 + (Z_i^{\hat{}} - U_z)^2 = \llbracket (R_i^{\hat{}} - C \cdot \tau)^2 \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

para  $i = 1, \dots, 4$

$\llbracket (X_i^{\hat{}} \cdot Y_i^{\hat{}} \cdot Z_i^{\hat{}}) \dots\dots$  coordenadas del satélite

## b) Fase de la Portadora

El Satélite genera una onda con una determinada frecuencia (L1 ó L2), en ese mismo instante el receptor genera esa misma onda. El receptor compara ambas ondas y mide el desfase entre ambas así como la variación de este desfase en el tiempo. Para determinar la distancia exacta nos falta conocer el valor inicial del número entero de longitudes de onda (N) entre el satélite y el receptor GPS.

El método de medida de fase es el que permite obtener mayor precisión. Partiendo de una frecuencia de referencia obtenida del oscilador que controla el receptor, se compara con la portadora demodulada que se ha conseguido tras la correlación, controlándose así, en fase la emisión radioeléctrica realizada desde el satélite con frecuencia y posición conocidas. Cuando llega al receptor, su recorrido corresponde a un número entero de longitudes de onda ( $N$  ó “ambigüedad inicial de fase”) más una cierta parte de longitud de onda que puede variar entre  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . Se tiene entonces una frecuencia y cierta parte de longitud de onda conocida y la ambigüedad ( $N$ ) por conocer. La resolución de la ambigüedad se realiza en base a un extenso proceso de cálculo.

Debe destacarse que es muy importante en el sistema no perder el seguimiento de la fase para que la ambigüedad inicial no pueda variar. Si hay alguna pérdida de recepción por cualquier causa, la lectura de la diferencia de fase se rempe (Cycle Slip) y con ella aumenta el número de ambigüedades. Esta pérdida puede ocurrir por muchas causas desde disturbios ionosféricas a obstrucciones físicas importantes.

### **2.2.2 Sistemas de Corrección de Señales de GPS**

La mayoría de errores de las señales de GPS provienen de 5 factores, los cuales se describen a continuación:

- **Atmosfera:** a medida que la señal pasa a través de la ionósfera (una banda de iones y electrones libres, entre 80 hasta 120 millas) reducen su velocidad. Esto retrasa la llegada de la señal al receptor, por lo tanto afecta el cálculo de la distancia. La cantidad de vapor de agua en la atmósfera también puede afectar a este tiempo de retardo.
- **Tiempo:** los relojes de los satélites están muy cerca de la perfección, pero los relojes de los receptores no son tan buenos.
- **Multipathing:** las señales de un satélite pueden ser reflejadas por un edificio ó algún otro objeto reflectante grande antes de llegar al receptor, sumando el retraso de su llegada al receptor. Si se recibe una señal directa, el software de la mayoría de receptores pueden rechazar las señales indirectas. Pero múltiples señales pueden confundir el cálculo de la posición.
- **Errores de Posicionamiento Satelital:** la atracción gravitacional del Sol y la Luna pueden distorsionar la órbita del Satélite. Estas alteraciones menores pueden añadir error a la señal.
- **Geometría de Satélite:** la posición relativa de los satélites entre sí pueden afectar la precisión; la interacción de 4 ó más “pseudo-rango” da una posición, pero como el

ángulo entre los satélites se hace más pequeño, el efecto de los errores anteriores en la posición resultante es mayor.

Las señales generadas por GPS por sí solos no son suficientemente precisas para su uso en la agricultura. Por lo tanto, deben hacerse correcciones a las señales de GPS para mejorar su precisión. Hay tres principales servicios de corrección disponibles en la actualidad: SBAS, RTK y la red VRS.

A continuación se presentará los sistemas de corrección de señales más usados.

#### **a) Sistema de Aumentación Basado en Satélites (SBAS)**

SBAS o correcciones DGPS (GPS Diferencial) se puede obtener a través de un número de sistemas por satélite gratuita operada por varios gobiernos en todo el mundo. Estos sistemas incluyen gratis WAAS (EE.UU.), EGNOS (Europa) y MSAS (Japón).

SBAS utiliza la banda L para las correcciones por satélite y proporciona una precisión submétrica de  $+ / - 8.6$  pulgadas. Hay también una variedad de servicios de corrección de suscripción que proporciona correcciones SBAS tan preciso como  $+ / - 2.5$  pulgadas. Dos opciones son el HP OmniSTAR y los servicios de OmniSTAR XP. Muchas extensiones de zonas de cultivo se pueden beneficiar en gran medida de la precisión submétrica facilitada por las señales SBAS.

OmniSTAR es un proveedor de servicios de GPS Diferencial de amplia cobertura. OmniSTAR utiliza satélites geoestacionarios en 8 regiones que cubren la mayor parte de la masa de cada continente habitado en la tierra.

Para acceder a la solución de OmniSTAR el productor debe tener un receptor OmniSTAR. El Receptor capaz de trabajar con el servicio OmniSTAR están disponibles a partir de una serie de fabricantes de GPS, como Autofarm, Geneq, Hemisphere, Novatel, Topcon, Trimble, Raven, etc.

El Sistema DGPS OmniSTAR fue diseñado con los siguientes objetivos:

- (1) Cobertura Continental
- (2) Precisión inferior al metro en el área de cobertura completa
- (3) Un sistema que corrige automáticamente la posición de un usuario de GPS.

La arquitectura básica del sistema está conformada por una red de estaciones terrestres de referencia distribuidas en una amplia zona geográfica (países ó continentes enteros) que supervisan la constelación de satélites de GNSS. Y tomando los datos de las estaciones es capaz de ofrecer una precisión consistente en grandes superficies. Usa un método para resolver los retrasos producidos por la atmósfera y la ponderación de los datos de la

estaciones se obtienen menos de un metro sobre la capacidad del área de cobertura completa. Un usuario puede llevar su equipo dentro del área de cobertura y obtener resultados consistentes de precisión, sin intervención ni conocimiento de GPS ó DGPS.

Varios proveedores de GPS en la actualidad fabrican modelos que combinan OmniSTAR y GPS en una sola unidad, utilizando una antena común, todos son físicamente pequeños y pueden funcionar con baterías. Pueden ser utilizados en aplicaciones de mochila ó montadas en vehículos ó aviones. Estos receptores cumplen con el tercer objetivo de hacer las correcciones transparentes para los usuarios. [8]

A continuación, en la Figura 2.3 se ilustra la forma como funciona el SBAS, en la cual se observa que el usuario recibe mensaje de corrección enviados desde satélites geoestacionarios. Esta información es generada mediante un análisis de los datos recibidos de los satélites por la estación terrena donde el SBAS ofrece cobertura.

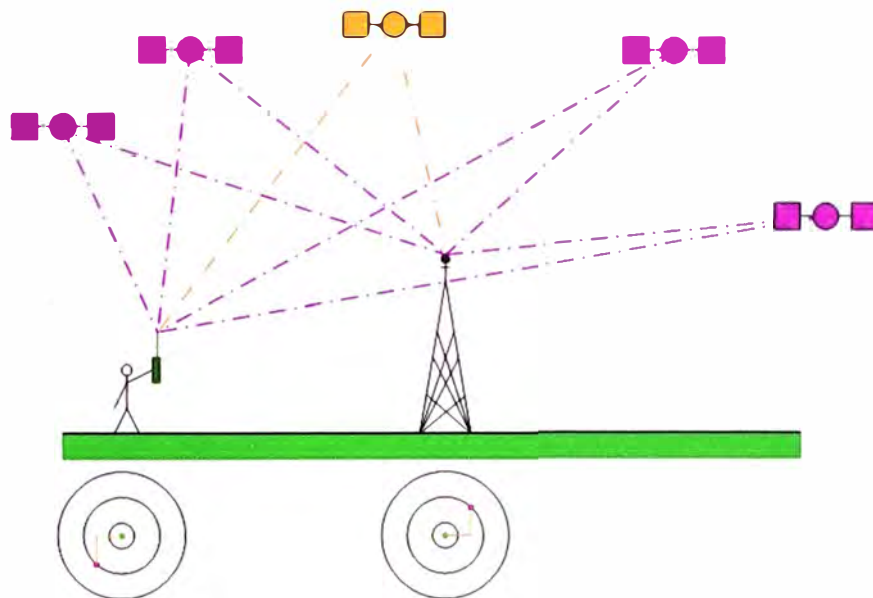


Figura 2.3 GPS diferencial SBAS

Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a7/SBAS.png/300px-SBAS.png>

Sin embargo, para ciertas aplicaciones de la agricultura de precisión, tales como la preparación del lecho de siembra y cosecha de fila o de la generación de mapas topográficos, la precisión sub-métrica SBAS no es suficiente. Utilizando correcciones RTK en estas aplicaciones pueden proporcionar precisión en sub-pulgadas, así como un gran ahorro en tiempo y dinero.

#### **b) Cinemática en Tiempo Real(RTK)**

En las últimas 2 décadas RTK se ha convertido en la metodología líder en la industria para la sub-pulgada de posicionamiento. RTK utiliza las comunicaciones por radio o celular para ofrecer correcciones.

Para un sistema RTK es necesario tener acceso a una estación base situado en un radio de 10 Km (6 millas) que permitirá transmitir las correcciones vía radio a cualquier numero de receptores móviles que tienen que operar en el campo de cultivo. Un típico enlace de radio está en la banda de radio UHF, VHF o radio espectro de banda ancha. Estos operan mejor con línea de vista o con un repetidor.

La técnica de posicionamiento RTK se basa en la solución de la portadora de las señales transmitidas de los sistemas globales de navegación GPS, GLONASS y GALILEO. La estación base proporciona correcciones instantáneas para estaciones móviles, lo que hace que la precisión llegue a nivel de centímetro.

La estación base retransmite la fase de la portadora que midió, y las unidades móviles comparan sus propias medidas de la fase con la recibida de la estación de referencia. Esto permite que las estaciones móviles calculen sus posiciones relativas absolutas que son relacionadas con las coordenadas de la estación base.

A continuación se bosqueja como trabaja el GPS Diferencial RTK en la Figura 2.4

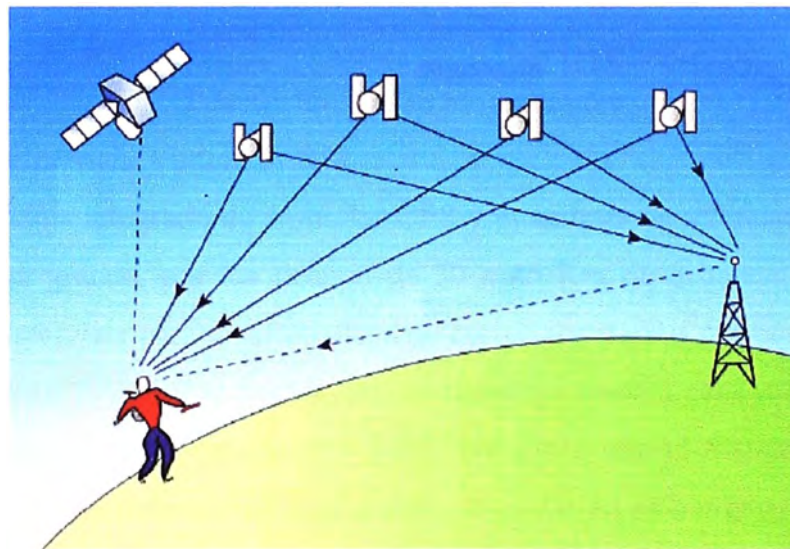


Figura 2.4 GPS Diferencial RTK  
Fuente: <http://2.bp.blogspot.com>

Esta técnica exige la disponibilidad de por lo menos una estación de referencia, con las coordenadas conocidas y está dotada de un receptor GNSS y un modem de radiotransmisor. Las estaciones generan y transmiten las correcciones diferenciales para las estaciones, que usan los datos para determinar precisamente sus posiciones.

El formato de las correcciones diferenciales es definido por la Radio Technical Committee for Maritime Service (RTCM). Y como se dijo anteriormente los radiotransmisores operan en las frecuencias VHF/UHF, y la observación fundamental usada en el RTK es la medida de la fase de portadora.

El empleo de las correcciones diferenciales hace que los errores debido a la distancia entre la estación base y la móvil se minimice (Figura 2.5).

En el caso del uso de modem de radio, RTK se restringe a líneas de base corta (10 Km) debido al alcance limitado de UHF, también porque la determinación de la posición con esta técnica emplea apenas la solución de portadora L1, aunque la portadora L2 esté presente para la solución de ambigüedades.

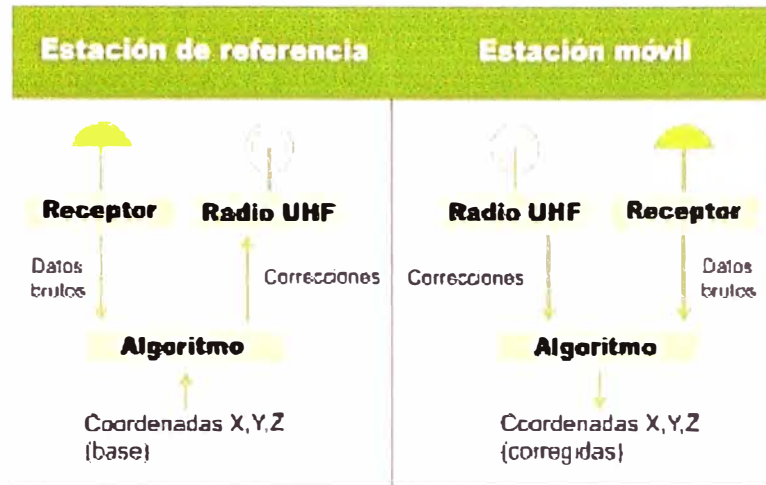


Figura 2.5 GPS Diferencial RTK

Fuente: <http://2.bp.blogspot.com>

### c) Estación de Referencia Virtual (VRS)

VRS es un sistema integrado de múltiples GPS y estaciones de referencia GNSS hacia fuera sobre un área grande, por lo general de 30 a 45 Km de distancia y un servidor central que usa un software para crear un mapa de corrección para la región cubierta por la red. Los receptores GPS/GNSS se comunican mediante un modem celular con el servidor VRS para recibir las correcciones de tipo RTK. Debido a que el Sistema VRS utiliza múltiples estaciones base para crear una posición, su precisión es extremadamente fiable. Las correcciones VRS son valiosas en las zonas naturales como árboles y el terreno montañoso por el hecho de que las correcciones se obtienen mediante un modem celular, en lugar de las señales de la línea de visión proporcionada por una torre de RTK.

El Sistema VRS también proporciona una solución de corrección de GPS al centímetro para zonas en donde no existen estaciones base RTK. Para llegar al nivel de centímetro, la exactitud de la posición requiere el uso preciso de observaciones de frecuencia dual de la fase de portadora. Además estas observaciones se procesan mediante el algoritmo de GNSS Diferencial (DGNSS).

Entonces para una revisión rápida, una configuración típica DGNSS consiste de una sola estación de referencia desde que los datos en bruto (o correcciones) son enviados al

receptor móvil (usuario). El usuario luego forma las diferencias de la fase de la portadora (o corrige los datos en bruto) y realiza el procesamiento de datos usando las correcciones diferenciales.

En contraste, las arquitecturas de red GNSS a menudo hacen uso de múltiples estaciones de referencia, lo que permite un modelado más preciso de la distancia que depende principalmente de los errores sistemáticos causados por refracción ionosférica y troposférica, y los errores de los satélites geoestacionarios. Una red GNSS disminuye la dependencia del presupuesto de error en la distancia más cercana de la antena.

La red de receptores está vinculado a un centro de cómputo, y cada uno aporta a su estación los datos en bruto para ayudar a crear en toda la red modelos de errores dependientes de la distancia. El cálculo de errores basado en las mediciones completa de la de la fase portadora de la red, en primer lugar, la resolución de las ambigüedades de la fase de portadora y requiere el conocimiento de las posiciones de la estación de referencia. (Este último se determina generalmente como parte de la configuración de red).

Al mismo tiempo, el receptor móvil calcula su posición aproximada y transmite esta información al servidor de cálculo, por ejemplo, a través de GSM ó GPRS utilizando un formato estándar de National Marine Electronics Association (NMEA). El centro de cómputo genera en tiempo real una estación de referencia virtual en ó cerca de la posición inicial del móvil. Esto se hace traduciendo geométricamente la pseudodistancia y los datos de la fase de portadora de la estación de referencia más cercana a la ubicación virtual y luego añadir los errores interpolados a partir de los modelos de error de la red.

Estos datos generados de VRS son enviados luego al usuario a través de una conexión inalámbrica, usando el transporte en red de RTCM a través del protocolo de Internet (NTRIP). Por último, como si los datos VRS hubieran venido de una estación de referencia física, el receptor móvil utiliza el estándar de una sola línea de base de algoritmos para determinar las coordenadas del receptor del usuario, casi en tiempo real cinemático o posterior procesado.

El objetivo principal de una estación de VRS es reducir la distancia de referencia entre el móvil y la estación de referencia con el fin de eliminar de manera eficiente los errores espacialmente correlacionados con el procesamiento diferencial, y para incorporar las correcciones de errores obtenidos de las estaciones de la red de referencia.

Con este fin, la posición de la VRS desempeña un papel fundamental. En particular, debido a que el receptor del usuario no puede, por diseño, distinguir una estación de

referencia real y un VRS, la distancia de la VRS por parte del usuario debe ser acorde con el nivel de errores en los datos de VRS. Esto es lo que permite que el receptor utiliza los algoritmos estándar de procesamiento de datos, que varían en función de la longitud de línea de base (es decir, la distancia) a la estación de referencia. [7]

### **2.3 Sistema de Información Geográfica (SIG)**

SIG ofrece oportunidades a los agricultores a aumentar la producción, reducir los costos de los insumos, y manejar sus tierras de manera más eficiente. Desde el manejo de mapeo en el campo para el análisis científico de los datos de producción en la oficina de del administrador del campo de cultivo. SIG puede hacer una diferencia en la producción agrícola para reducir los costos de los insumos agrícolas, tales como fertilizantes, combustible, semillas, mano de obra y transporte.

#### **2.3.1 Definición**

SIG es una integración de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular y analizar información geográfica con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. SIG permite a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

#### **2.3.2 Representación de Datos**

Los datos SIG representan los objetos del mundo real, que pueden ser objetos discretos (una casa) u objetos continuos (cantidad de lluvia). Existen 2 formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial.

El modelo de SIG raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Las fotografías aéreas son una forma comúnmente utilizada de datos raster con un sólo propósito: mostrar una imagen detallada de un mapa base sobre la que se realizarán labores de digitalización. Otros conjuntos de datos raster contendrá información relativa a elevaciones (un Modelo Digital del Terreno), o de reflexión de una particular longitud de onda de la luz (las obtenidas por el satélite LandSat), etc. En un modelo raster cuanto mayor sean las dimensiones de las celdas, menor es la precisión o detalle (resolución) de la representación del espacio geográfico.

En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. Los datos vectoriales se pueden



utilizar para representar variaciones continuas de fenómenos. Las líneas de contorno y las redes irregulares de triángulos (TIN) se utilizan para representar la altitud u otros valores en continua evolución. Los TIN son registros de valores en un punto localizado, que están conectados por líneas para formar una malla irregular de triángulos.

Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres elementos geométricos: el punto, la línea y el polígono.

Los puntos se utilizan para las entidades geográficas que mejor pueden ser expresadas por un único punto de referencia. Las líneas unidimensionales o polilíneas son usadas para rasgos lineales como ríos, caminos, ferrocarriles, rastros, líneas topográficas o curvas de nivel. Los polígonos bidimensionales se utilizan para representar elementos geográficos que cubren un área particular de la superficie de la tierra (lagos, límites de parques naturales, edificios, provincias, o los usos del suelo). [9]

### **2.3.3 Captura de Datos**

Existe una amplia variedad de métodos utilizados para introducir datos en un SIG almacenados en un formato digital.

Con la digitalización de cartografía en soporte analógico se producen datos vectoriales a través de trazas de puntos, líneas, y límites de polígonos. Este trabajo puede ser desarrollado por una persona de forma manual o a través de programas de vectorización que automatizan la labor sobre un mapa escaneado.

Los datos obtenidos de mediciones topográficas pueden ser introducidos directamente en un SIG a través de instrumentos de captura de datos digitales mediante una técnica llamada geometría analítica. Además, las coordenadas de posición tomadas a través un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) también pueden ser introducidas directamente en un SIG.

Los sensores remotos también juegan un papel importante en la recolección de datos. Son sensores, como cámaras, escáneres o LIDAR acoplados a plataformas móviles como aeroplanos-helicópteros o satélites.

La tele observación por satélite proporciona otra fuente importante de datos espaciales. En este caso los satélites utilizan diferentes sensores para medir la reflectancia de las partes del espectro electromagnético, o las ondas de radio que se envían a partir de un sensor activo como el radar. La teledetección recopila datos raster que pueden ser procesados usando diferentes bandas para determinar las clases y objetos de interés, tales como las diferentes cubiertas de la tierra.

Cuando se capturan los datos, el usuario debe considerar si estos deben ser tomados con una exactitud relativa o con una absoluta precisión. Esta decisión es importante ya que no solo influye en la interpretación de la información, sino también en el costo de su captura.

#### **2.3.4 Software SIG**

La información geográfica puede ser consultada, transferida, transformada, superpuesta, procesada y mostrada utilizando numerosas aplicaciones de software.

Hoy por hoy dentro del software SIG se distingue a menudo seis grandes tipos de programas informáticos:

- SIG de escritorio. Son aquellos que se utilizan para crear, editar, administrar, analizar y visualizar los datos geográficos.
- Sistemas de gestión de bases de datos espaciales o geográficas (SGBD espacial). Se emplean para almacenar la información geográfica, pero a menudo también proporcionan la funcionalidad de análisis y manipulación de los datos.
- Servidores cartográficos. Se utilizan para distribuir mapas a través de Internet (véase también los estándares de normas Open Geospatial Consortium WFS y WMS).
- Servidores SIG. Proporcionan básicamente la misma funcionalidad que los SIG de escritorio pero permiten acceder a estas utilidades de geoprosesamiento a través de una red informática.
- Clientes web SIG. Permiten la visualización de datos y acceder a funcionalidades de análisis y consulta de servidores SIG a través de Internet o intranet. Generalmente se distingue entre cliente ligero y pesado.
- SIG móviles. Se usan para la recogida de datos en campo a través de dispositivos móviles (PDA, Smartphone, Tablet PC, etc.). Con la adopción generalizada por parte de estos dispositivos de localización GPS integrados, el software SIG permite utilizarlos para la captura y manejo de datos en campo.

#### **2.3.5 Elaboración y Tipos de Mapas**

##### **a) Mapa de Terreno**

Está relacionado a la información que necesita el agricultor acerca del estado de la plantación, cuando todavía puede actuar sobre ella. Para ello se hará uso de sensores remotos, utilizando sensores remotos y cámaras será posible observar el brillo de objetos en puntos distintos a lo largo del espectro visible y la luz cercana al infrarrojo; de este modo analizando las respuestas espectrales en varios intervalos de longitud de onda del

espectro tales como el azul, verde, rojo y NIR, se podrá calcular los índices de vegetación en una zona determinada. En la figura 2.6 se muestra un ejemplo de mapa de cultivo con las respuestas espectrales tomada desde una cámara multispectral, aquí se observa las diferentes reflectancias que pueden reflejar un suelo ó campo de cultivo hacia el sensor de la cámara. En ella se observa el color verde que es la de mayor biomasa (densa y vigorosa), el color rojo de biomasa (escasa y débil) y el color azul indica la presencia de agua.

Una vez capturadas las imágenes generalmente desde el aire, estas deben de ser digitalizadas y georeferenciadas a un sistema real de coordenadas para ello habrá sido necesario establecer un conjunto de puntos de control de referencia en la plantación estudiada, utilizando un receptor de GPS diferencial (DGPS). Estos puntos de control deben ser localizados con precisión tanto en las imágenes como en el suelo.

En el proceso de georreferencia se emplea el sistema GIS para registrar las imágenes digitales a los puntos de control. Un paso previo a este proceso será, en muchos casos, el ortorrectificar las imágenes adquiridas, de modo que se eliminen las distorsiones introducidas por la lente de la cámara. Para ello será útil el anteriormente citado conjunto de puntos de control, los cuales permitirán alargar o encoger las imágenes electrónicamente, de modo que sean espacialmente correctas.

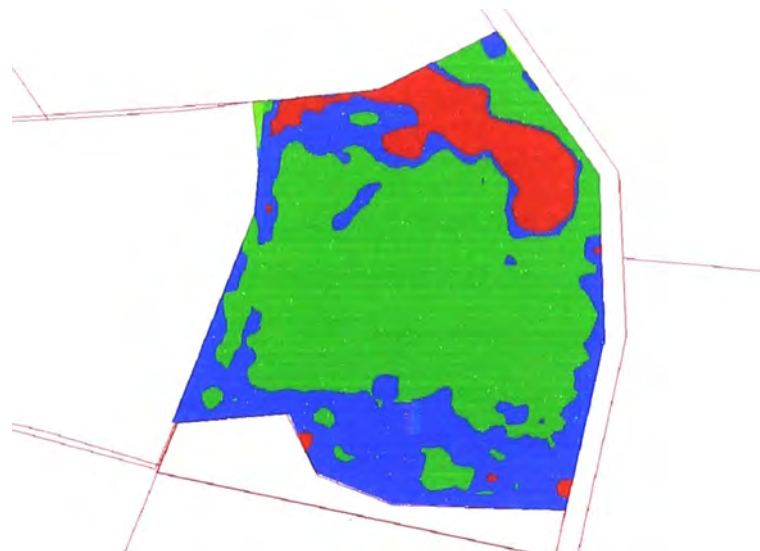


Figura 2.6 Ejemplo de Mapa de Terreno

Fuente: [http://images.engormix.com/s\\_articles/1487\\_fertilizacion\\_03.jpg](http://images.engormix.com/s_articles/1487_fertilizacion_03.jpg)

#### **b) Mapa de Rendimiento**

Un mapa de rendimiento refleja la variación espacial de la producción. Para crear un mapa de rendimiento, basta con conocer en cada instante la posición exacta de la cosechadora y la cantidad cosechada en esa posición. Por tanto, los mapas de rendimiento se obtienen a partir de los datos recopilados por una cosechadora que incluye un sistema de

posicionamiento de vehículos junto con un sistema de sensores que calculan la cantidad de producto cosechado. Ver Figura 2.7

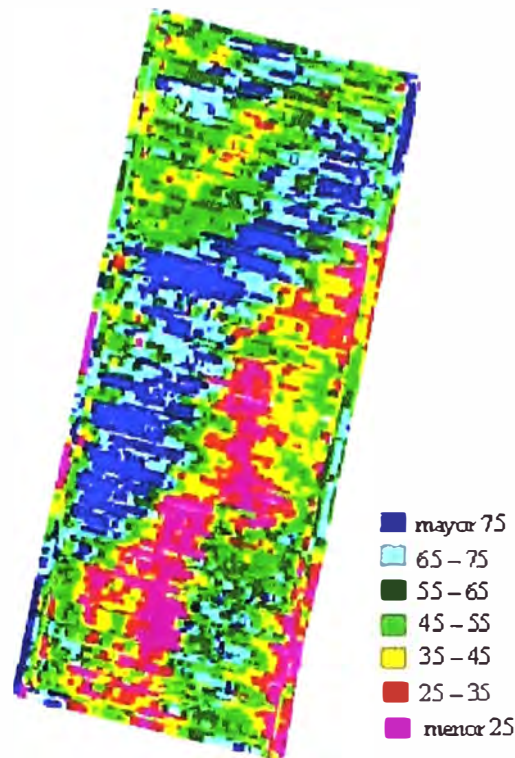


Figura 2.7.- Ejemplo de Mapa de Rendimiento

Fuente: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/agprec/MonitorRendimientoConocCalib.asp>

Obtenido el mapa, su interpretación es también muy importante, ya que una mala elección de la representación del mapa puede desorientar, en lugar de ayudar a tomar decisiones. Dado que los mapas de rendimiento son utilizados con fines administrativos, las consideraciones espaciales son de gran peso. Un mapa con un exceso de variaciones no sería aconsejable a la hora de tomar decisiones. Para que el mapa sea significativo, requiere algún tipo de allanamiento de los datos, de modo que sólo los altibajos más importantes en la cantidad de cosecha se vean reflejados. [10]

#### 2.4 Sistema de Percepción Remota

La percepción remota (PR) es un grupo de técnicas para recolectar información sobre un objeto o área sin tener contacto físico con el objeto o área. Las distancias que separan al sensor del objeto o área estudiados pueden variar desde unos pocos metros hasta miles de kilómetros. Los métodos más comunes para recoger información incluyen el uso de sensores colocados sobre aeroplanos-helicópteros o sobre satélites.

La percepción remota implica la medición de la reflexión difusa de las ondas electromagnéticas y usa sensores pasivos (sensor remoto) como los sensores fotoeléctricos

ya que registran información de la luz reflejada o emisión termal. Solo una pequeña porción o banda de todo del espectro es de interés de la percepción remota. El rango de interés es la que va desde el ultravioleta (UV) hasta el infrarrojo (IR). La mayor parte de la luz solar esta en estas bandas y tiene longitudes de onda entre 0.2 y 0.4  $\mu\text{m}$ . La banda visible se extiende de 0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$ , la luz azul se encuentra cerca de la región de 0.4  $\mu\text{m}$  y la luz roja cerca de los 0.7  $\mu\text{m}$ . Sobre la región del rojo se encuentra la banda del infrarrojo cercano (NIR). No existe una distinción clara entre el NIR y el IR. Esta región del infrarrojo cercano, aunque es indetectable por el ojo humano, puede ser detectada por sensores artificiales y es muy importante en la percepción remota. A continuación se muestra el espectro de longitudes de onda en la Figura 2.8 [18]

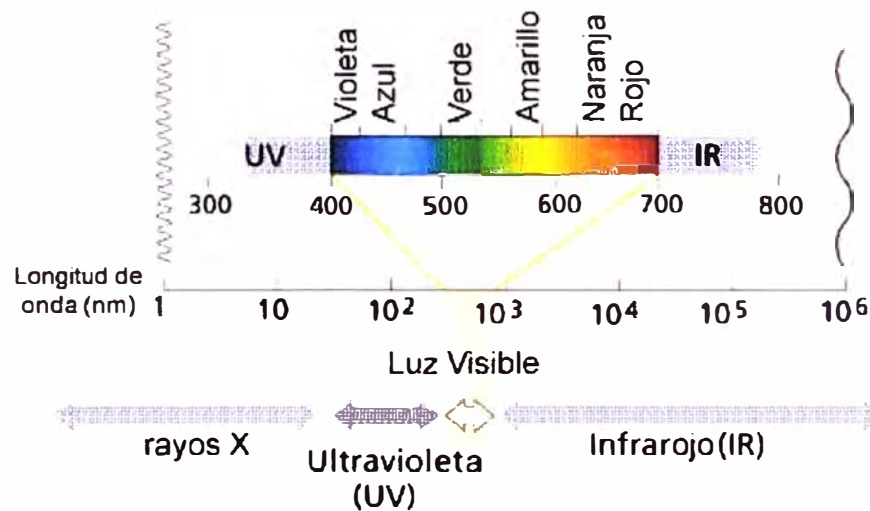


Figura 2.8.- Longitudes de Onda

Fuente: [http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema\\_11.htm](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_11.htm)

La energía electromagnética reflejada y emitida de los objetos es lo que se mide en la percepción remota.

Cada objeto o grupo de objetos, examinados por percepción remota refleja un único espectro de longitudes de onda. Las diferencias entre el espectro reflejado es la base para distinguir un objeto de otro. En el diagnóstico de cultivos agrícolas, se debería determinar un espectro característico para distintos cultivos y en cada etapa de crecimiento saludable. Plantas en crecimiento saludable reflejan más luz verde que plantas enfermas marrones o amarillas.

Un problema encontrado al tratar de determinar las diferencias entre los espectros reflejados de las plantas, es que, muchos factores además de la planta misma afectan las características de la luz reflejada. Por ejemplo el ángulo de incidencia de la luz solar, las gotas de agua presentes en las nubes y la temperatura de los objetos.

Hay dos opciones básicas usadas para la percepción remota de objetos sobre el terreno; sistemas de percepción activa y sistemas de percepción pasiva.

En el Sistema de percepción activa se trabaja con las ondas de radio que son emitidas por un transmisor y son recogidas por un receptor, luego de haber sido reflejadas por un objeto. Este Sistema puede ser usado para monitorear el estado hídrico de cultivos.

Los sistemas de percepción pasiva son de mayor valor en las aplicaciones de la percepción remota en la producción agrícola. Los sistemas pasivos simplemente reciben las señales emitidas naturalmente y reflejadas por los objetos percibidos. Estas señales generadas por la radiación solar natural, pueden proveer una información muy rica sobre los objetos percibidos.

#### **2.4.1 Características de los sistemas de percepción remota**

La percepción remota se lleva a cabo sosteniendo de alguna manera un sensor sobre el o los objetos bajo estudio. Se utilizan diferentes plataformas para sostener los sensores, y estas plataformas varían en base a la altitud por sobre el blanco. Hoy en día se usan dos plataformas que están equipadas con sistemas de percepción pasiva para recoger datos de Percepción Remota: sobre aeroplanos-helicópteros y sobre satélites. Los sensores usados sobre aviones pueden ser o cámaras fotográficas o los llamados sensores electro-ópticos.

La mayoría de los sensores remotos ubicados en satélites actualmente, usan sensores electro-ópticos. Estos sensores son detectores electrónicos fotosensibles que crean una señal eléctrica proporcional a la cantidad de energía electromagnética que reciben.

Los tipos de sensores usados en la percepción remota en satélite y aeroplanos-helicópteros son:

##### **a) Sensores en los Satélites**

Para el caso de los satélites veremos los sensores usados con los satélites LANDSAT y SPOT.

El sensor del satélite detecta solo una parte de la escena denominada campo instantáneo de vista (CIV o IFOV por sus siglas en inglés), el cual está determinado por la resolución espacial del sensor y por la altura a la que órbita el satélite. El IFOV es una medida de la resolución espacial del sensor y se escribe en unidades de medida (pies o metros) o de área (acres o hectáreas).

El sensor remoto está formado por un sistema óptico que recibe la radiación electromagnética reflejada, la cual es conducida a través de un medio conductor, a unos detectores diseñados y calibrados para longitudes de onda específicas de energía

electromagnética; para ello, antes de los detectores se encuentran unos filtros que separan la energía dejando pasar únicamente la longitud de onda a la que está calibrado el detector.

Cada detector mide la cantidad de radiación por ángulo sólido por unidad de tiempo ( $W/m\_sterad/s$ ). El voltaje que sale del detector pasa por un convertidor analógico/digital, que lo registra en una escala de valores generalmente de 0 a 255 (8 bits) que representan el valor de brillantez que corresponde a cada CIV.

La información de salida de cada detector formará lo que es la imagen en una banda específica correspondiente al rango de calibración del detector; así, se tiene que dependiendo del número de detectores, será el número de bandas que se generarán de la imagen, las cuales pueden estar diferentes regiones del espectro electromagnético (Figura 2.9).

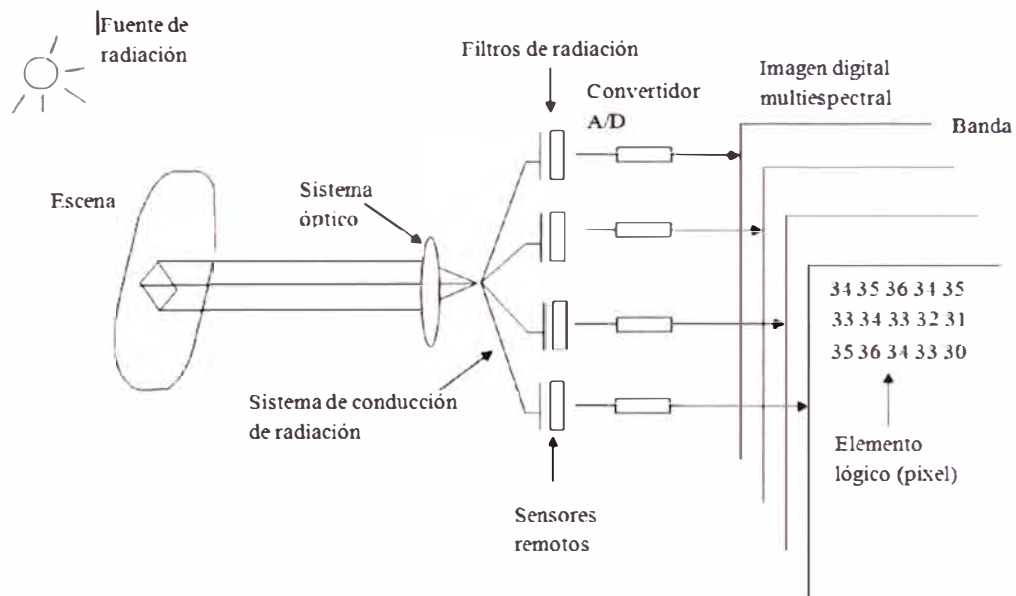


Figura 2.9 Esquema de generación de una imagen de satélite multispectral

Fuente: [http://www.geofisica.unam.mx/posgrado/tesis/TesisParaConsulta/plaga\\_moscapercepcion.pdf](http://www.geofisica.unam.mx/posgrado/tesis/TesisParaConsulta/plaga_moscapercepcion.pdf)

La disposición de la órbita, en combinación con la rotación de la tierra permite que el satélite tenga cobertura total de la tierra. Durante su recorrido orbital, el satélite realiza la barradura de franjas de la superficie, obteniendo imágenes cada determinado tiempo, las cuales forman mosaicos completos de las franjas que recorre el satélite.

Una imagen de satélite es un grupo de valores digitales asociados con la brillantez que tienen los elementos presentes en la parte de la escena que es registrada por el CIV del sensor remoto (Figura 2.10), y que en la imagen se denomina píxel (picture element en inglés). Los valores de los píxeles están dispuestos en arreglos matriciales de M columnas por N renglones de acuerdo a su posición dentro de la escena, conformando una matriz por

cada banda que conforma la imagen, así una imagen pancromática estará constituida por una sola matriz y una imagen multispectral por tantas matrices como bandas tenga.

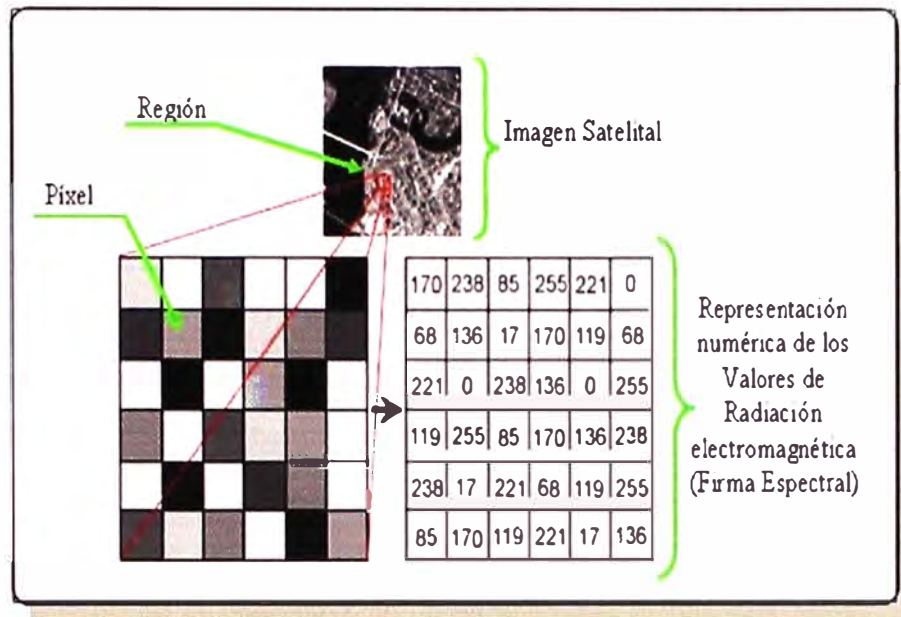


Figura 2.10 Representación de una imagen de satélite  
Fuente: Fundamentals of Remote Sensing, CCRS 2007.

- **LANDSAT**

El Landsat7 es el satélite operacional más reciente del programa Landsat, financiado por el gobierno de los Estados Unidos.

El último satélite LANDSAT 7 lanzado con un nuevo sensor denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Su operación es administrada por la NASA (National Space and Space Administration) y la producción y comercialización de imágenes depende de la USGS (United States Geological Survey).

Una imagen LANDSAT 7 ETM+ está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color o/u opciones de procesamiento. Entre las principales mejoras técnicas respecto de su antecesor, el satélite Landsat 5, se destaca la adición de una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros. También, cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda térmica para 60 m. Estos avances tecnológicos permiten calificar al LANDSAT 7 como el satélite más interesante para la generación de imágenes con aplicaciones directas hasta una escala de 1:25.000, principalmente, en áreas rurales o territorios de grandes extensiones.

Las imágenes generadas por el Landsat7 adquiridas mediante el sensor ETM+ presentan una mejor relación costo-beneficio que los datos generados por satélites de resolución media (15 a 30 metros) actualmente ofrecidos en el mercado.



Un factor importante es que el período de revolución del LANDSAT 7 es igual que el del Landsat5 (16 días), y una imagen cubre igual área (185 x 185 Km por escena). La conservación de estos parámetros técnicos facilita que el proceso de captura de imágenes se pueda realizar con la misma grilla de referencia (WRS2) lo que permite una perfecta integración entre el procesamiento de las imágenes del LANDSAT 7 con datos históricos del LANDSAT 5 existentes desde 1984. Esto es especialmente útil cuando es necesario utilizar los dos tipos de datos de un mismo lugar en forma simultánea, por ejemplo, para un estudio multitemporal.

Las principales diferencias entre el Landsat 7 y el Landsat 5:

- Adición al Landsat7 de una banda Pancromática con resolución espacial de 15m.
- Perfeccionamiento del sistema de calibración radiométrica de los sensores, lo que garantiza una precisión radiométrica absoluta de 5%.
- Perfeccionamiento de la geometría de captura, lo que brinda una mayor precisión en imágenes corregidas sólo a partir de datos de efemérides de satélite generadas por el GPS de abordaje, muy próxima a la precisión obtenida con imágenes georeferenciadas con puntos de control cartográficos.

Las bandas espectrales y Resolución Espacial de LANDSAT son:

- Las bandas del espectro visible y del infrarrojo mantienen la resolución espacial de 30m del Landsat 5 (canales 1, 2, 3, 4, 5 y 7)
- Las bandas del infrarrojo térmico (canales 6L e 6H) pasan a ser adquiridas con resolución de 60 metros, contra 120 metros del Landsat 5.
- La nueva banda Pancromática (canal 8) tiene 15 m de resolución espacial.

La Tabla 2.1 compara las diferencias de resolución espectral entre el sensor TM del Landsat5 y el sensor ETM+ del Landsat 7. Los valores, expresados en micrones, representan los límites de longitudes de onda a los que es sensible cada banda espectral. [3]

Tabla 2.1 Relación de sensores de LandSat

Sensor	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8
TM	0.45 0.52	0.52 0.60	0.63 0.69	0.76 0.90	1.55 1.75	10.4 12.5	2.08 2.35	
ETM+	0.45 0.52	0.53 0.61	0.63 0.69	0.78 0.90	1.55 1.75	10.4 12.5	2.09 2.35	0.52 0.90

- **Banda Pancromática:** la banda Pancromática es la mayor novedad del sensor ETM+ en el Landsat7. Su resolución espacial de 15 m registrado con las demás bandas,

permite que las imágenes generadas a través de este sensor sean trabajadas para obtener ampliaciones hasta una escala de 1:25.000. [4]

- **Banda Termal:** el Landsat 7 genera la banda 6 con ganano bajo (Canal 6L) y ganano alto (Canal 6H). Esto permite varias opciones de análisis y aplicaciones, tales como la medición relativa de temperatura radiante o un cálculo de temperatura absoluta.

La Tabla 2.2 contiene las aplicaciones del sensor ETM en las diferentes bandas y resoluciones espectrales.

Tabla 2.2 Cuadro de Aplicaciones del sensor ETM

Banda	Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	Aplicaciones	Resolución
1	0,45-0,52 (azul)	Mapeo de aguas costeras, diferenciación entre suelo y vegetación, diferenciación entre vegetación conífera y decidua	30m
2	0,52-0,60 (verde)	Mapeo de vegetación, calidad de agua	30m
3	0,63-0,90 (rojo)	Absorción de la clorofila, diferenciación de especies vegetales, áreas urbanas, uso del suelo, agricultura, calidad de agua.	30m
4	0,76-0,90 (infrarrojo cercano)	Delimitación de cuerpos de agua, mapeo geomorfológico, mapeo geológico, áreas de incendios, áreas húmedas, agricultura vegetación.	30m
5	1,55-1,75 (infrarrojo medio)	Uso del suelo, medidas de humedad de la vegetación, diferenciación entre nubes y nieve, agricultura vegetación.	30m
6	10,40-12,50 (infrarrojo termal)	Mapeo de stress térmico en plantas, corrientes marinas, propiedades termales del suelo, otros mapeos térmicos u otros.	60m
7	2,08-2,35 (infrarrojo medio)	Identificación de minerales, mapeo hidrotermal.	30m
8	0.52 – 0.90 (Pancromático)	Canal pancromático, resolución 15mts. Catastro rural, infraestructuras. Ubicación de centros poblados, hidrología, vías.	15m

En todas las imágenes, y esto es válido para todos los satélites comercialmente disponibles, las correcciones del sistema son algoritmos de rectificación de la imagen cruda aplicadas automáticamente en la estación de recepción, usando parámetros espaciales contenidos en los archivos descriptores de imagen (datos de posicionamiento y

efemérides del satélite), que consiguen minimizar las variaciones espaciales internas presentes en la imagen en su estado bruto, correcciones del ángulo de curvatura terrestre, variaciones de velocidad, altura y actitud del satélite, desplazamientos orbitales, etc. Las imágenes Landsat7 están disponibles en 3 niveles de corrección geométrica:

Las imágenes generadas por el proceso de fusión espectral (merge) reúnen en una única imagen diferentes texturas (calidad geométrica) provenientes del canal de mejor resolución espacial (15 m de la banda PAN) y la información temática de color, resultante de la combinación de los diversos canales espectrales disponibles (en el caso del Landsat 7, 6 bandas espectrales con resolución espacial de 30 m). El resultado es una imagen con 15 metros de resolución, contra los 30 metros del producto original, con tonalidades muy similares a la composición de las bandas originales, o sea, sin alterar el contenido temático.

Las imágenes Landsat7 crudas o derivadas del proceso de fusión están disponibles en formato digital al requerimiento de los clientes. Cada imagen cubre 185 x 185 Km (escena completa).

- **SPOT**

La otra fuente principal de percepción remota satelital es SPOT (Systeme Pour l'Observation de la Terre) y es operado por Francia y ofrece imágenes con una resolución espacial entre 33 y 66 pies (10 a 20 m).

Los satélites Spot (Figura 2.11) están constituidos por dos instrumentos ópticos idénticos, registradores de datos y un sistema de transmisión de imágenes hacia las estaciones de recepción terrenas.

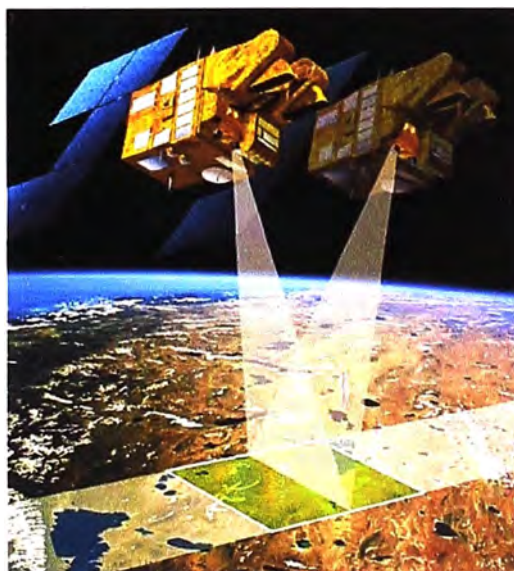


Figura 2.11 Satélite SPOT en orbita

Fuente:

[http://www.spotimage.com/automne\\_modules\\_files/standard/public/p316\\_filcLINKEDFILE\\_carga\\_util.pdf](http://www.spotimage.com/automne_modules_files/standard/public/p316_filcLINKEDFILE_carga_util.pdf)

El satélite Spot 5 transporta además un instrumento HRS (Alta resolución estereoscópica) para la adquisición simultánea de pares de imágenes estereoscópicas.

Los instrumentos ópticos de alta resolución de los satélites Spot (HRV – Alta resolución visible en Spot 2; HRVIR – Alta resolución visible infrarroja en Spot 4 y HRG – Alta resolución geométrica en Spot 5) pueden efectuar observaciones oblicuas, hasta +/- 27 grados de la vertical del satélite. En efecto, la orientación del espejo de entrada de cada instrumento puede telecontrolarse desde las estaciones terrenas, permitiendo así observar las regiones particulares que no están necesariamente en la vertical del satélite.

Los dos instrumentos de toma de imágenes de alta resolución pueden funcionar independiente o simultáneamente en modo pancromático o multiespectral.

A continuación un cuadro (Tabla 2.3) con los sensores de los SPOT versus sus bandas espectrales y sus resoluciones.

Tabla 2.3 Sensores SPOT 5, 4, 3, 2, 1 y sus bandas espectrales y resoluciones

Sensores	Espectro electromagnético	Tamaño de los píxeles	Bandas espectrales
Spot 5	Pancromático	2,5 m o 5 m	0,48 - 0,71 $\mu\text{m}$
	B1: verde	10 m	0,50 - 0,59 $\mu\text{m}$
	B2: rojo	10 m	0,61 - 0,68 $\mu\text{m}$
	B3: infrarrojo cercano	10 m	0,78 - 0,89 $\mu\text{m}$
	B4: infrarrojo medio (MIR)	20 m	1,58 - 1,75 $\mu\text{m}$
Spot 4	Monoespectral	10 m	0,61 - 0,68 $\mu\text{m}$
	B1: verde	20 m	0,50 - 0,59 $\mu\text{m}$
	B2: rojo	20 m	0,61 - 0,68 $\mu\text{m}$
	B3: infrarrojo cercano	20 m	0,78 - 0,89 $\mu\text{m}$
	B4: infrarrojo medio (MIR)	20 m	1,58 - 1,75 $\mu\text{m}$
Spot 1	Pancromático	10 m	0,50 - 0,73 $\mu\text{m}$
Spot 2	B1: verde	20 m	0,50 - 0,59 $\mu\text{m}$
Spot 3	B2: rojo	20 m	0,61 - 0,68 $\mu\text{m}$
	B3: infrarrojo cercano	20 m	0,78 - 0,89 $\mu\text{m}$

El instrumento HRS (Alta resolución estereoscópica) embarcado en Spot 5 es un instrumento dedicado a la adquisición simultánea de pares estereoscópicos de un corredor de 120 Km de ancho (ancho de la escena observada centrada en la traza del satélite) por 600 Km (longitud máxima de una escena), con una banda espectral pancromática de una

resolución de 10 m (muestreo a lo largo de la traza: 5 m). El ángulo de visión de los telescopios es de  $\pm 20^\circ$ .

La Tabla 2.4 contiene las características generales y técnicas de los satélites SPOT.

Tabla 2.4 Características generales de los satélites SPOT

	CARACTERISTICAS GENERALES		
	SPOT 5	SPOT 4	SPOT 1,2 Y 3
Orbita	Heliosincrónica		
Hora local nodo descendente	10 h 30 en el ecuador		
Velocidad del satélite	7,4 Km/s		
Estabilización	Apuntando a la Tierra y control de altitud en guiñada	Apuntando a la Tierra	
Período de revolución	101,4 minutos		
Generador solar	2 400 W	2 100 W	1 100 W
Capacidad de registro	1 memoria auxiliar de 90 Gbits (~ 210 imágenes de un tamaño promedio de 144 MB descomprimidas)	2 registradores de 120 Gbits cada uno mas 1 memoria auxiliar de 9 Gbits (~ 560 imágenes para cada registrador + 40 imágenes, de un tamaño promedio de 36 MB descomprimidas)	2 registradores de 60 Gbits cada uno (~ 280 imágenes cada uno, de un tamaño promedio de 36 MB descomprimidas)
Procesamiento de imágenes a bordo	Hasta 5 imágenes adquiridas simultáneamente: 2 transmitidas a la tierra y 3 almacenadas a bordo con una tasa de compresión de 2,6 (DCT)	2 imágenes adquiridas simultáneamente, transmitidas a la tierra o almacenadas a bordo con una tasa de compresión de 1,3 (DPCM)	2 imágenes adquiridas simultáneamente, transmitidas a la tierra o almacenadas a bordo (con una tasa de compresión de 1,3 -DPCM - sólo para el modo pancromático)
Enlace de telemedición de imagen (8 GHz)	2 x 50 Mbits/s	50 Mbits/s	50 Mbits/s

\* La precisión de localización se evalúa a partir de una estadística realizada sobre un gran número de escenas repartidas por todo el mundo y adquiridas desde septiembre 2003.

La Tabla 2.5 contiene la comparación de los instrumentos de alta resolución de los satélites SPOT.

Tabla 2.5 Cuadro comparativo de instrumentos de Alta Resolución de los satélites SPOT

	INSTRUMENTOS DE ALTA RESOLUCION		
	SPOT 5	SPOT 4	SPOT 1, 2 y 3
Instrumentos	2 HRG	2 HRVIR	2 HRV
Bandas espectrales y resolución	2 pancromáticas a 5 m. que permiten generar un producto a 2,5m  3 multispectrales a 10m  1 infrarrojo medio a 20m	1 monoespectral a 10m  3 multispectrales a 20m  1 infrarrojo medio a 20m	1 pancromático a 10m  3 multispectrales a 20m
Espectro electromagnético	P: 0,48 – 0,71 $\mu\text{m}$  B1 (verde): 0,50 – 0,59 $\mu\text{m}$  B2 (rojo): 0,61 – 0,68 $\mu\text{m}$  B3 (infrarrojo cercano): 0,78 – 0,89 $\mu\text{m}$  B4 (infrarrojo medio): 1,58 – 1,75 $\mu\text{m}$	M: 0,61 – 0,68 $\mu\text{m}$  B1 (verde): 0,50 – 0,59 $\mu\text{m}$  B2 (rojo): 0,61 – 0,68 $\mu\text{m}$  B3 (infrarrojo cercano): 0,78 – 0,89 $\mu\text{m}$  B4 (infrarrojo medio): 1,58 – 1,75 $\mu\text{m}$	P: 0,51 – 0,73 $\mu\text{m}$  B1 (verde): 0,50 – 0,59 $\mu\text{m}$  B2 (rojo): 0,61 – 0,68 $\mu\text{m}$  B3 (infrarrojo cercano): 0,78 – 0,89 $\mu\text{m}$
Campo de captura de imagen	60 Km x 60 Km a 80 Km		
Dinámica de la imagen	8 bits		
Precisión de localización absoluta (sin puntos de apoyo, terreno llano)	30 m ( $1\sigma$ )*	350 m ( $1\sigma$ )*	
Precisión relativa interna para las distancias (nivel 1B)	$0,5 \times 10^{-3}(1\sigma)$		
Ángulo de incidencia	entre - 31,06° y + 31,06°		
Repetitividad media en un ciclo de 26 días y según la latitud	2 a 3 días	-	

El instrumento VEGETATION instalado en el Spot 4 (VEGETATION 1) y en Spot 5 (VEGETATION 2) es un instrumento de observación terrestre de campo amplio (2.250 km

de corredor con una resolución espacial de 1 km) y una alta resolución radiométrica. Utiliza las mismas bandas espectrales que el instrumento de alta resolución HRVIR / HRG (B2, B3 y MIR), a las que se les agrega una banda experimental B0 (0,43-0,47  $\mu\text{m}$ ) para las aplicaciones oceanográficas y las correcciones de la atmósfera. [12]

Todas las respuestas espectrales se presentan en la siguiente Figura 2.12:

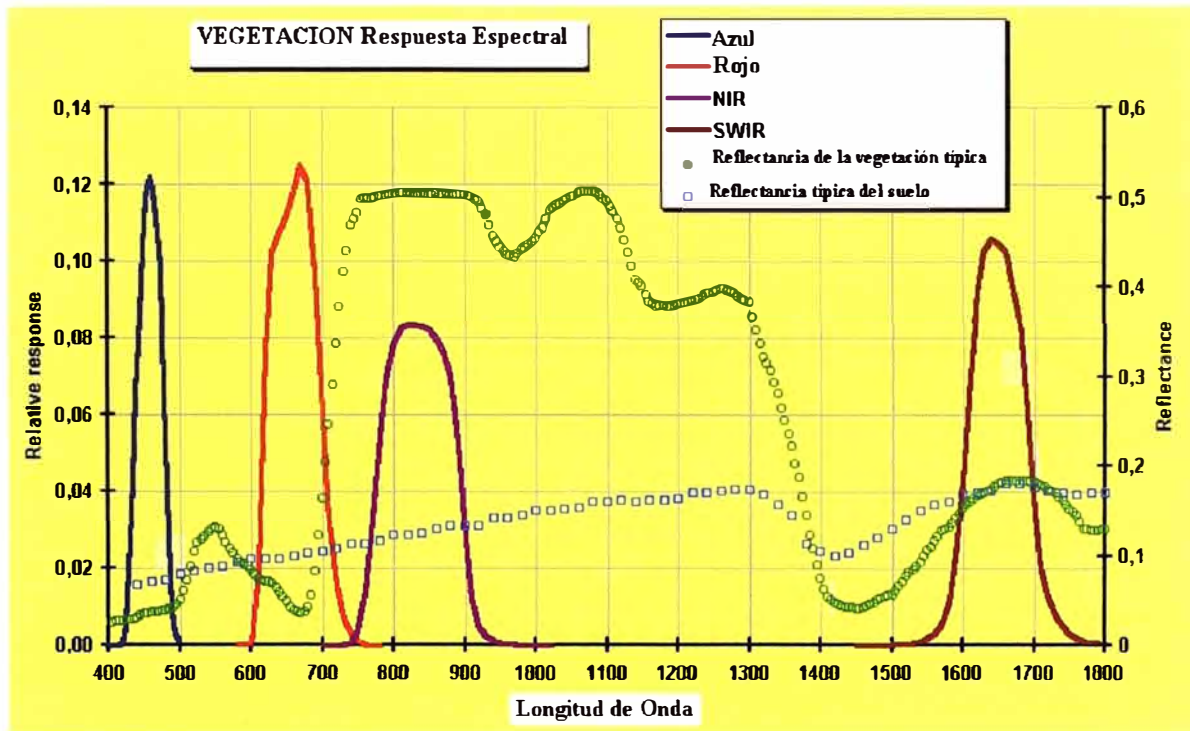


Figura 2.12 Gráfico de respuestas espectrales

Fuente: <http://www.spot-vegetation.com/pages/VegetationSystem/spectral.htm>

Adicionalmente existen los satélites Spot 6 y Spot 7 de alta resolución y campo amplio, más allá de la continuidad Spot y forman una constelación de satélites de observación de la Tierra diseñada para garantizar la continuidad de la disponibilidad de los datos de alta resolución y campo amplio hasta 2023. Incorporan las innovaciones tecnológicas y operativas con las que cuenta la constelación. [2]

Las principales características técnicas de los satélites Spot 6 y Spot 7 son:

- Ortoimagen automática con una precisión de localización de 10m (CE90) gracias a la utilización de Reference3D.
- Adquisición simultánea pancromática y multiespectral:
  - 1,5 m en pancromático (0,455  $\mu\text{m}$  – 0,745  $\mu\text{m}$ )
  - 6 m en multiespectral 4 bandas:
    - azul (0,455  $\mu\text{m}$  – 0,525  $\mu\text{m}$ ),
    - verde (0,530  $\mu\text{m}$  - 0,590  $\mu\text{m}$ ),
    - rojo (0,625  $\mu\text{m}$  - 0,695  $\mu\text{m}$ )

- infrarrojo cercano (0,760  $\mu\text{m}$  - 0,890  $\mu\text{m}$ )
- Imagen en color de 1,5 m mediante combinación (fusión) del pancromático con las cuatro bandas multiespectrales.
- Formato de Imagen: JPEG 2000
- Mosaico: adquisición bi-segmento de 120km x 120km o tri-segmento 60km x 180km en un solo pasaje y entrega del mosaico de las imágenes correspondientes.

## b) Sensores en Aeroplanos-Helicópteros

El tipo de sensor usado en esta plataforma son los sensores electro-ópticos, las cámaras espectrales ubicados en ellos son los sensores CCD y CMOS

### • CCD

Son las siglas en Ingles de Charge-Coupled Device que traducido en español es “dispositivo de cargas acopladas. Este dispositivo es capaz de transformar un patrón de iluminación en un patrón de cargas eléctricas dentro de un grupo de condensadores entrelazados.

En la Figura 2.13 se muestra el diagrama de funcionamiento básico del sensor. Luego de que la intensidad de luz se almacenan en forma de cargas eléctricas, se procede a digitalizarlo, por lo cual observando la figura los electrones pasan de una celda a otra hasta llegar a un dispositivo que convierte esa carga eléctrica en voltaje, luego se amplifica para no perder la información. Por último se transmite al dispositivo que almacena toda el área del CCD. El sensor necesita de un circuito oscilador para su funcionamiento.

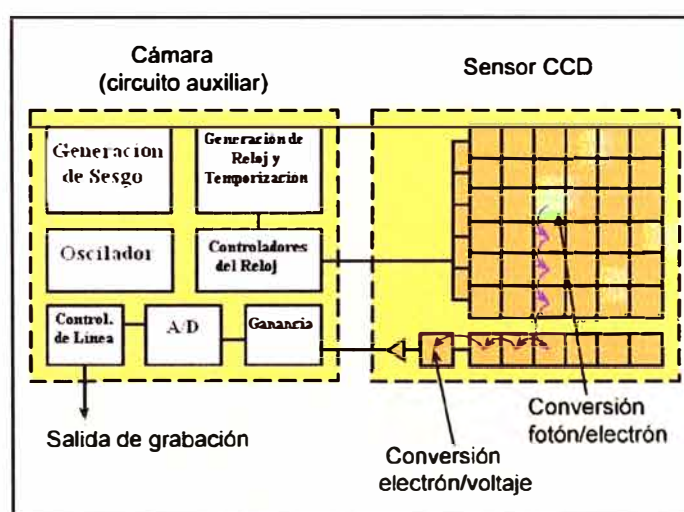
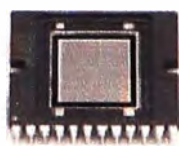


Figura 2.13 Diagrama de bloques básico del sensor CCD

Fuente: Revista PHOTONICSS SPECTRA ©Laurin Publishing Co. Inc.

Los fabricantes de sensores CCD ofrecen diferentes tipos de sensores CCD: Sensor cuadro completo, sensor lineal, sensor entrelazado. (Figura 2.14)

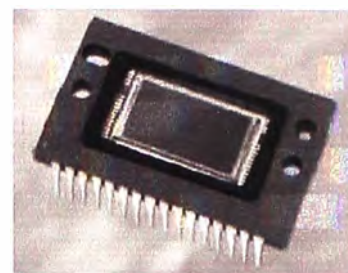




Sensor cuadro completo



Sensor Lineal



Sensor Entrelazado

Figura 2.14 Tipos de Sensores CCD

Fuente: <http://jp.hamamatsu.com>, <http://www.kodak.com>

- **CMOS**

CMOS, de las siglas en inglés Complementary Metal-Oxide Semiconductor que traducida al español es “semiconductor complementario de óxido metálico”, en realidad este nombre es con el que se conoce, su nombre verdadero es APS, siglas en inglés Active Pixel Sensor, el cual utiliza la tecnología antes mencionada.

En la figura 2.15 se muestra al sensor con el arreglo de pequeños sensores, pixeles, con sus respectivos dispositivos para la conversión de carga a voltaje, el circuito que tiene el reloj y el dispositivo para convertir la señal analógica a digital. El sensor trabaja de la misma manera que el sensor CCD con la única diferencia que la conversión se realiza en cada pixel, donde se realiza también la conversión de la intensidad de luz en carga eléctrica. Y a la salida del sensor se obtendrá la imagen en forma digital. Algunos CMOS entregan la información de la imagen en forma paralela y otros en forma serial.

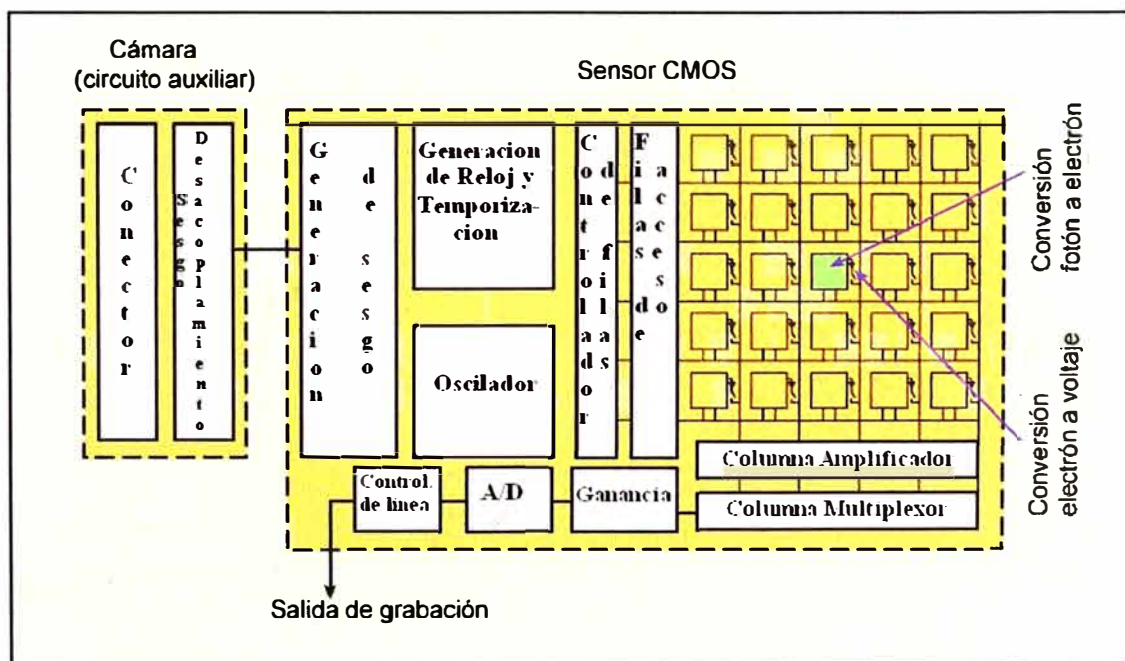


Figura 2.15 Diagrama de bloques básico del CMOS

Fuente: Revista PHOTONICSS SPECTRA ©Laurin Publishing Co. Inc.

Luego de ver los 2 tipos de sensores CMOS y CCD que no solo son sensibles a luz visible sino también a la luz infrarroja. Si el infrarrojo no se filtra, se convertirá en parte de los datos RGB y por lo tanto se hacen visibles en las imágenes resultantes.

Desafortunadamente los sensores son ciegos al color y solo realiza el seguimiento de la intensidad total de la luz que incide sobre su superficie. Con el fin de obtener una imagen a color existen sensores de filtrado que son utilizados para ver la luz en sus tres colores primarios. Una vez que los tres colores se han registrado, pueden sumarse para crear todo el espectro de colores que estamos acostumbrados a ver en los monitores e impresoras a color.

El patrón más común de los filtros es el patrón del Filtro de Bayer (ver Figura 2.16). Este patrón se alterna una fila de filtros rojos y verdes con una fila de filtros azul y verde. Los píxeles no están divididos, hay píxeles verdes, tantas como se combinan azul y rojo. A medida que el ojo humano no es igualmente sensible a los tres colores, es necesario incluir más información de los píxeles verdes con el fin de crear una imagen que el ojo perciba como un "color verdadero".

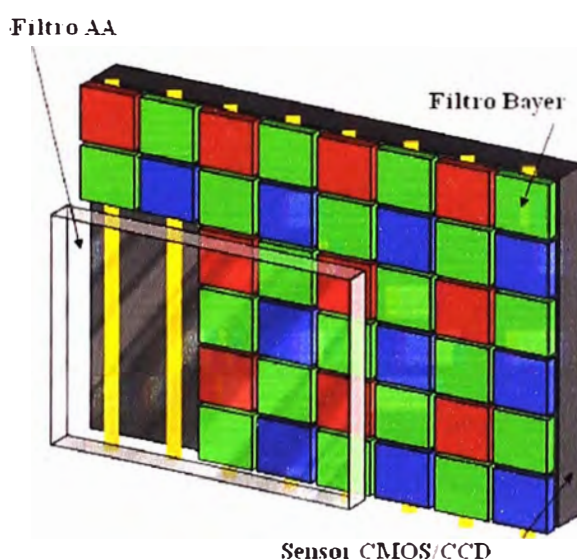


Figura 2.16 Filtro Bayer en los sensores CMOS/CCD

Fuente: <http://www.rawness.es/el-sensor-y-la-matriz-de-bayer/?lang=en>

El tamaño del área más pequeña que puede ser distinguida por el sensor define la resolución espacial. Tanto el diseño del sensor como su altura sobre la superficie determinan el tamaño de la unidad más pequeña, o la resolución espacial.

Otros sensores electro-ópticos tienen una formación, o línea de sensores, que recogen una línea completa, o pasada, de datos de una sola vez. Sin embargo, tienen como desventaja que se debe calibrar cada elemento sensor por separado porque todos los

sensores deben dar el mismo valor para un valor dado de luz incidiendo sobre la formación.

Los datos digitales grabados tanto por los scanners como por las formaciones de sensores se usan comúnmente para crear imágenes del área examinada. Una imagen de un área examinada remotamente puede ser reconstruida armando las sucesivas líneas de datos escaneados de cualquiera de los tipos de sensores.

La performance de los sistemas de percepción remota está claramente relacionada a las características del hardware y a los procedimientos utilizados para recoger datos.

A continuación se muestran los pasos necesarios para aplicar la información obtenida de la Percepción Remota:

Recoger datos de percepción remota.

Procesar datos e imágenes.

Examinar y analizar cuidadosamente los datos estadísticos.

Hacer comprobaciones en el terreno de los datos percibidos remotamente.

Incorporar los datos de la percepción terrestre y de las comprobaciones en el terreno a un sistema de información georreferenciada.

Identificar relaciones causa efecto entre las variables medidas y la condición del cultivo.

Tratar los lotes en base a la información generada.

Los datos de Percepción Remota son casi siempre recolectados por alguien ajeno al productor. Es importante que el productor comprenda el potencial del uso de los datos de Percepción Remota como una herramienta de manejo. La recolección, procesamiento, análisis y validación en el terreno son pasos necesarios para que los datos de Percepción Remota puedan transformarse en información útil en la toma de decisiones en el campo.

#### **2.4.2 Plataforma de Aeroplanos-Helicópteros**

Las aeronaves han sido utilizados extensivamente como plataformas de percepción remota para el mapeo de tierras y costas, estudios oceanográficos y para la detección de cardúmenes de peces. Este es uno de los métodos más eficientes de percepción remota de la superficie de la tierra a grandes escalas.

Una misión de la percepción remota es realizar en un área en particular en un momento específico (permitido por las condiciones del tiempo) la captura de imágenes y puede ser repetido bajo condiciones controladas. Una altitud adecuada puede ser seleccionada para optimizar la resolución y el área de cobertura. Aviones comerciales

disponibles pueden alcanzar una altitud de 15 kilómetros. Los aviones pueden ser equipados con equipo fotográfico blanco y negro, color o color infrarrojo (CIR), barredores multiespectrales o sensores activos.

Las principales desventajas de la percepción remota desde un avión son la inestabilidad de la plataforma, la cobertura geográfica limitada (debido a la baja altitud del avión), y la dependencia de las condiciones ambientales. Este método, por lo tanto es utilizado principalmente para misiones críticas de tiempo. Cuando la misión requiere imágenes repetitivas de la misma área, es preferido a su más bajo costo de acceso que a los datos satelitales.

La plataforma de Aviones y Helicópteros manejados a control remoto son considerados de baja altitud y de bajo costo. Ellos trabajan a altitudes de 500m a 800m y cuyo tiempo de vuelo es de 25 minutos promedio.

En los aeroplanos con motores eléctricos (Ver Figura 2.17 y Figura 2.18) la calidad de las imágenes es mucho mejor que las obtenidas de aviones equipados con motor de combustión, esto debido a la vibración que genera un motor de combustión.



Figura 2.17 Avión y Helicóptero a Control Remoto.

Fuente: <http://www.hooked-on-rc-airplanes.com/electric-rc-airplanes.html>



Figura 2.18 Avión a Control Remoto

Fuente: <http://www.hooked-on-rc-airplanes.com/electric-rc-airplanes.html>

Uno de las principales consideraciones ó requisitos es la capacidad de carga que deben de llevar esta plataforma. Es por ello que los aviones por control de radio fueron diseñados.

En la Figura 2.19 se muestra un ejemplo de carga útil que de llevar un aeroplano para realizar la adquisición de imágenes.

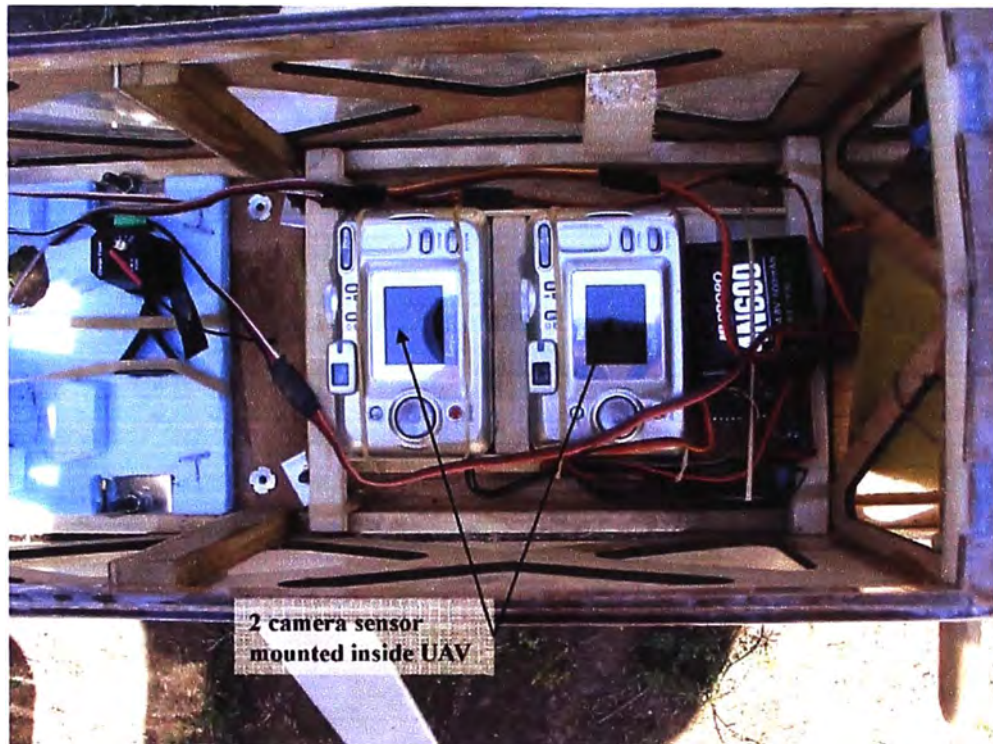


Figura 2.19 Carga útil de lleva un aeroplano a control remoto.

Fuente:

<http://eprints.usq.edu.au/6222/&sa=U&ci=CISwTrOOGsTagQfWxs2xAQ&ved=0CBEQFjAA&usg=AFQjCNHwG7n3pmPE5XXTUfvqKPTDyd8Ofg>

En los aeroplanos para la Percepción Remota usan el siguiente dispositivo de control:

**a) Receptor R6014HS**

- Diseñado para trabajar en 14 canales.
- Diseñado específicamente para Sistemas FASST 2.4GHz (Propagación avanzada de tecnología de espectro Futaba). Esta tecnología permite a comparación de otros sistemas de 2.4Ghz que se mantienen firmes en una ó dos frecuencias, lo que aumenta la posibilidad de interferencia es que esta se desplaza cientos de veces por segundo y así no hay conflictos ó interrupciones de señal. También examina los datos entrantes y aplica técnicas sofisticadas de corrección de errores. Así mismo los transmisores salen de fábrica con un código de identificación único y permanente y una vez ligado al receptor, el código se asegura de que el receptor reconozca y responda solo a ese transmisor.
- Pulsador para bloquear señal única de Transmisor.

- Con batería a prueba de fallos con auto-corte y la configuración de LED.
- b)** Transmisor marca Futaba 10CG 2.4Ghz (A para Aeroplano ó II para Helicópteros)[26]
- Fuente de Alimentación de 9.6V 700mAh NT8S700B (Batería de Transmisor)
- Requiere Servos de acuerdo a la aeronave.
- Requisito de Potencia: 4.8V – 6V.
- Consumo de Corriente: 70mA.
- Potencia Isotrópica radiada equivalente (PIRE): 4W.



Figura 2.20 Radio Futaba 10CG 2.4Ghz Fasst RC y Receptor R6014HS  
<http://www.futaba-rc.com/systems/futk9255.html>

De acuerdo a las normas legales del Perú, según Resolución Ministerial N° 777-2005-MTC/03 se encuentran en concesión, asignación del espectro radioeléctrico, autorización, permiso ó licencia los servicios cuyos equipos utilizan las bandas de: 2400Mhz – 2483,5Mhz y 5725Mhz – 5850Mhz con un máximo de PIRE (Potencia isotrópica radiada equivalente) de 36dBm (4W). También hay que indicar que el uso está prohibido en zonas urbanas (no permitido para el servicio privado de Lima y la Provincia del Callao): sectoriales con un ancho de lóbulo de hasta 90°. [28]

En zonas rurales y en los lugares considerados de preferente de interés social no hay restricciones de antenas. Para aplicaciones de espacio cerrado no hay restricciones.

Los elementos de un Sistema completo de Teledetección mostrado en la figura 2.21 son:

- Fuente de Energía – Radiación Electromagnética, típicamente del sol, pero también puede provenir por flash ó transmitida desde una antena.
- Propagación – reflexión, la refracción y la absorción de energía que se mueve hacia el objeto de interés.

- Energía Incidente – reflexión selectiva, la refracción y la absorción de energía con los objetos de interés.
- Propagación - reflexión, refracción y absorción de energía, ya que se aleja del objeto de interés.
- Sensor y la plataforma - la detección, cuantificación y el registro de la energía recibida en varias longitudes de onda.
- Producción de datos - la distribución de datos en forma impresa o en formato digital.
- Interpretación y análisis - la extracción de información a través de la interpretación visual, las técnicas de fotogrametría y el análisis de imágenes.

Datos de referencia - mapas, fotografías, informes y otros datos complementarios para facilitar el análisis.

- Productos de la información - la pantalla del ordenador, mapas, informes, bases de datos geoespaciales (SIG), etc, que resultan del análisis.
- Usuarios - gestores, políticos, responsables de las políticas que utilizan la información para tomar decisiones.

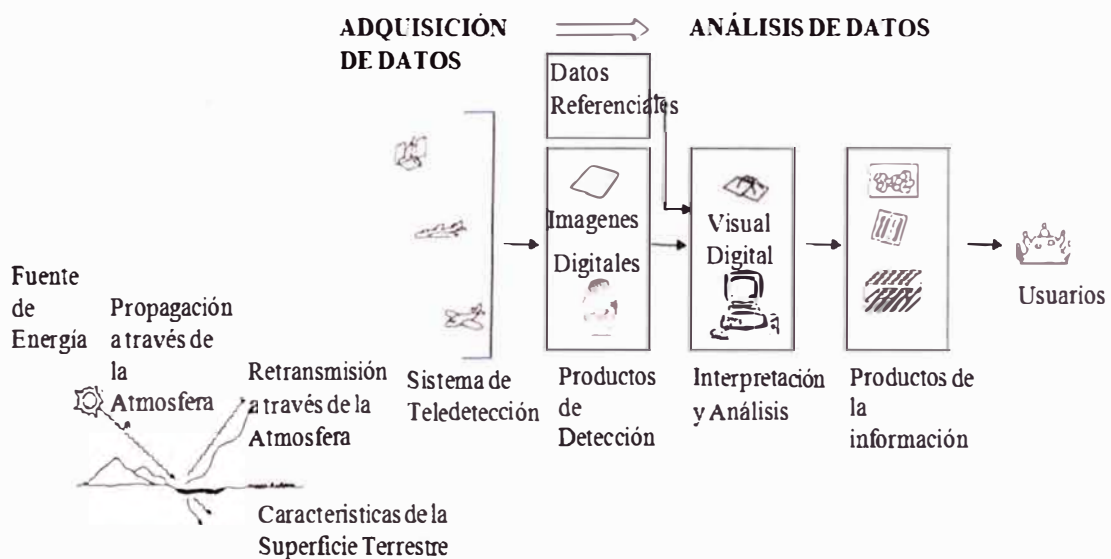


Figura 2.21.- Elementos del Sistema de Teledetección.

Fuente: <http://wiseman.brandonu.ca/ap&rs.htm>

### **Ventajas de la Fotografía aérea sobre la observación terrestre. [17]**

- Mayor sensibilidad espectral.
- Una mayor resolución espacial.
- Grabación permanente.
- Capacidad para detener la acción.

- Técnica Fotogramétrica..

## 2.5 INDICES DE VEGETACION

### a) FACTOR SAVI

El índice SAVI (Índice de vegetación ajustado al suelo) nació como una necesidad de disminuir las alteraciones del valor del NDVI al estudiarse en zonas áridas, ya que el mismo valor de NDVI podrá corresponder a cubiertas vigorosas pero poco densas, o a cubiertas densas pero con poca vitalidad.

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{NIR + R + L} (1 + L) \dots\dots\dots(2.7)$$

Donde: L es la constante de ajuste de la línea vegetación – suelo al origen (0.5 para densidades intermedias de vegetación)

De acuerdo a la ecuación 2.7 hallaremos los valores de SAVI con respecto a valores NIR, R y L como ejemplo.

BANDA NIR	BANDA RED	L	SAVI (Valor Calculado)
0.5	0.08	0.5	0.583
0.4	0.3	0.5	0.125

### b) FACTOR GVI

El Índice de Vegetación verde

$$GVI = \frac{(NIR - G)}{(NIR + G)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Los mapas de índice de vegetación verde proporcionan una imagen completa y precisa de la cantidad de vegetación y variabilidad sin errores causados por el suelo y la humedad.

Donde: G es la banda espectral Verde.



## **CAPÍTULO III**

### **INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PARA LA AGRICULTURA DE PRECISION**

#### **3.1 Introducción**

Entre las alternativas que se tiene para la adquisición de imágenes, se tiene el uso de satélites y el uso de vehículos no tripulados con cámaras multispectrales. En el caso de áreas menores de 100 Hectáreas, el avance de la Percepción Remota mediante vehículos no tripulados para vuelos de baja altura ha evolucionado en estos últimos 7 años en países donde se ha desarrollado el uso de las tecnologías de la Agricultura de Precisión. La principal ventaja del uso de vehículos no tripulados, es su bajo costo.

Las imágenes recolectadas por sensores ubicados en aviones de baja altitud pueden proveer imágenes de mayor resolución que aquellos sensores ubicados en satélites. También, los sensores en aviones son más fáciles de mantener y tienen un costo operativo menor que los satelitales. Usando aviones, las áreas de interés seleccionadas pueden ser percibidas y analizadas cuando sea conveniente y las condiciones- clima, momento de la estación, temperatura superficial, y humedad- son óptimas. Los satélites, sin embargo, están en órbitas fijas y no pueden tomar una imagen de un lote en cualquier momento. El proceso de percepción está sujeto al paso de los satélites. Algunos satélites pasan por el mismo lugar solo una vez cada 16 días y otros cada 26 días.

Por estos motivos, se opta por elegir la adquisición de imágenes haciendo uso de cámaras en vehículos no tripulados a baja altura. Esta plataforma está compuesta por un aeroplano controlado en forma remota, con cámaras multispectrales (sensor CMOS /CCD), un receptor GPS, un equipo de computo y un software que permite la captura y procesamiento de las imágenes para la obtención de imágenes con el factor de vegetación NDVI.

En base al marco teórico conceptual revisado en el capítulo II, a continuación se detallará la instrumentación seleccionada para la aplicación de la captura de imágenes (percepción remota) así como el criterio de selección de cada uno de ellos.

Los componentes más representativos en el campo de la percepción remota de baja altura son:

- Plataforma (vehículos no tripulados) con sensores de control.
- Las cámaras que se instalan en los vehículos (sensores cmos/ccd) y los filtros que se usan para mejorar la captura de imágenes (lentes)
- GPS que se instala con la cámara o equipo de cómputo (sensor receptor)
- Equipo portátil compacto para el proceso de captura de imágenes.
- Software que según las coordenadas ingresadas, lee la ubicación del GPS y dispara un trigger para que la cámara capture imágenes.
- Almacenamiento de Imágenes que se encuentra en la cámara.

### **3.2 Plataforma (Vehículos no tripulados) con sensores de control**

Para seleccionar la plataforma óptima se debe de considerar lo siguiente: el costo, la seguridad, la experiencia del operador, así como el tamaño y peso de carga útil como factor principal limitante para el Sistema de baja altura. En líneas generales hay varias consideraciones a ser evaluadas para determinar la idoneidad de un bajo costo del sistema de baja altura. Entre los parámetros que son considerados como importantes, en este estudio para el sistema de bajo costo y baja altura se tiene:

- **Funcionalidad.**-El sistema debe ser capaz de adquirir imágenes aéreas de al menos 3 hectáreas y un mínimo de resolución espacial de 0.5m.
- **Portabilidad.**- La plataforma debe ser fácil de transportar desde y hacia la zona de destino. También el montaje y desmontaje es considerado para el caso de espacio y facilidad para el operador.
- **Simplicidad.**- El sistema debe ser sencillo de operar y dar mantenimiento. El sistema debe estar hecho de materiales fácilmente disponibles y los componentes que puedan ser fácilmente reparadas ó reemplazadas en el caso de averías.
- **Robustez.**- El sistema debe tener una amplia protección, a medida que los equipos sean más delicados y costosos.

Entre los tipos de aeroplanos evaluados se consideró los modelos KADET y Super Squire. El modelo KADET, tiene un fuselaje de 1.8m y una envergadura de 2.4m y el modelo Super Squire, tiene un fuselaje de 1.3m y una envergadura de 1.97m. Ambos modelos tienen motores eléctricos sin cepillo.

La estabilidad del aeroplano, se debe a sus medidas de longitud de fuselaje (longitud a lo largo del aeroplano) y longitud de envergadura (longitud de extremo a extremo de las alas laterales del aeroplano).

Respecto a los motores incluidos en los aeroplanos se tiene de 2 tipos: motores de combustión y motores eléctricos, los motores eléctricos son mejores respecto a los motores de combustión, debido a que los motores de combustión generan vibración y ocasionan distorsión al momento de la toma de imágenes.

Luego de realizar las pruebas de manejo y control de los aeroplanos se seleccionó el modelo KADET por tener mejor estabilidad y de simple control de vuelo. Así mismo este modelo tiene una capacidad de carga útil de 1.5 Kilogramos.

Para el sistema de control del aeroplano se usa el Sistema FUTABA cuyo equipo Transmisor de control es el modelo 10CGA con modulación FASST, frecuencia de trabajo de 2.4GHz, potencia de emisión de 90mW, batería NT8S700B de 700mAh y 9.6V y su alcance es de 15Km. El equipo Receptor es el modelo R6014HS con frecuencia de trabajo de 2.4Ghz, batería NR4J de 600mAh y 4.8V y corriente de consumo de 70mA.

Para el tema de visibilidad del aeroplano durante el vuelo, se consideró una distancia de 800m aproximadamente de alcance con una elevación máxima de 500m.

A continuación se muestra en la figura 3.1 el transmisor FUTABA modelo 10CGA.

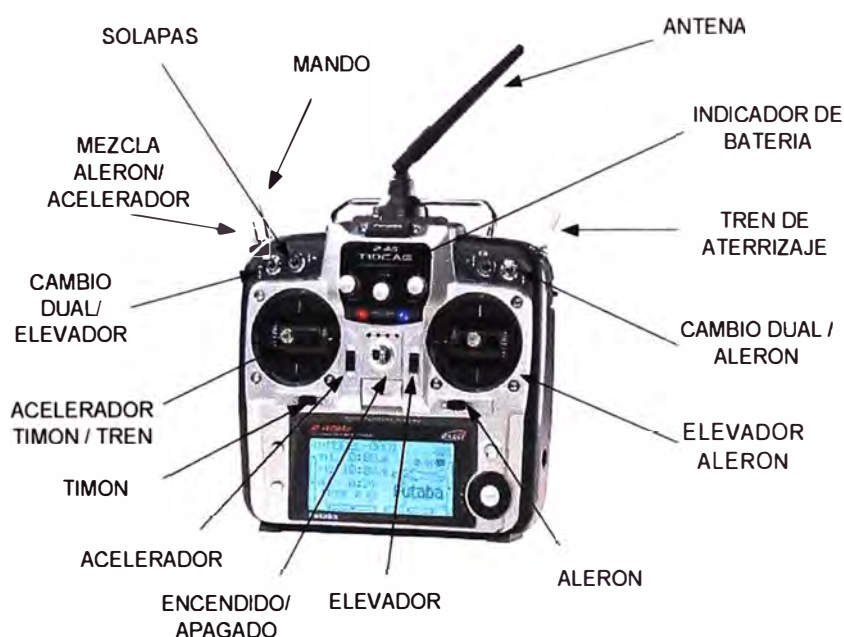


Figura 3.1 Transmisor Futaba modelo 10CGA

Fuente:

[http://www.ultraligero.net/Cursos/radio\\_control/iniciacion\\_al\\_aeromodelismo.pdf](http://www.ultraligero.net/Cursos/radio_control/iniciacion_al_aeromodelismo.pdf)

Para el control del KADET, se instalan los elementos de control en el aeroplano desde el receptor cuya antena debe estar alejada del motor y alimentado con su batería NR4J, así mismo los puertos de salida del receptor son conectados a los servos cuya alimentación va desde los 4.8V a 6V, de acuerdo a los canales de comunicación del emisor que van a controlar los alerones, cola, dirección y elevadores.

Las señales de control que envía el receptor hacia los servos son pulsos de duración variable que se repite cada 20ms. La duración del pulso va desde 1ms hasta 2ms y determina la posición del servo. A continuación se muestra la señal de control del receptor en la Figura 3.2.

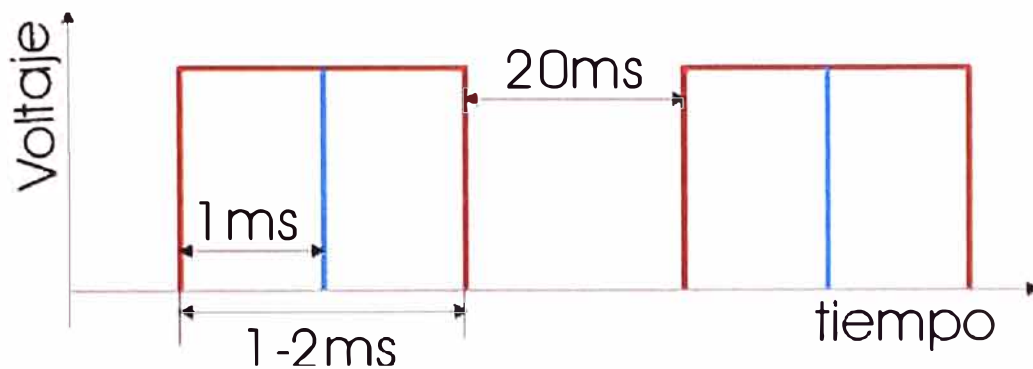


Figura 3.2 Señal de Control del Receptor

Fuente: <http://www.mondinoteam.com.ar/infovaria/servos2.htm>

El servo usado para el aeroplano es el modelo S9252 que trabaja a 4.8V, tiene un torque 6.62Kg-cm y su velocidad es de 0.14sec/60° (servo digital) mostrado en la Figura 3.3.



Figura 3.3 Servo Modelo S9252

Fuente: <http://www3.towerhobbies.com/cgi-bin/wti0001p?I=LXVZ39&P=8>

En la Figura 3.4, se muestra la ubicación del receptor en el aeroplano y su antena con un ángulo de 90°.

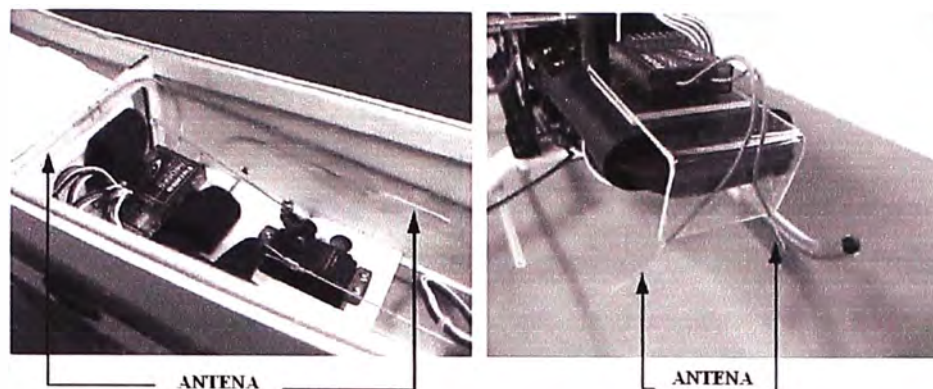


Figura 3.4 Ubicación del receptor y su antena.

Fuente: [http://manuals.hobbico.com/fut/10cg-2\\_4ghz-manual.pdf](http://manuals.hobbico.com/fut/10cg-2_4ghz-manual.pdf)

### 3.3 Cámara Multiespectral (Sensores CCD y CMOS)

En los últimos años se ha discutido que tipo de sensor genera una mejor imagen. Pero se debe tener en cuenta que cada uno de ellos es utilizado de acuerdo a los requerimientos y aplicaciones.

En la tabla 3.1 se muestra un cuadro comparativo entre los 2 modelos de sensores, basándose en las características y el desempeño que las dos tecnologías ofrecen. En la tabla 3.2 se resume la investigación realizada por un fabricante, DALSA, que detalla las características y rendimientos del sensor.[24]

Tabla 3.1. Comparación entre los sensores CCD y CMOS

Características	CCD	CMOS
Señal de salida del pixel	Paquete de electrones	Voltaje
Señal de salida del chip	Voltaje (analógico)	Bits (digital)
Señal salida de la cámara	Bits (digital)	Bits (digital)
Factor de llenado	Alto	Moderado
Sistema de ruido	Bajo	Moderado
Complejidad del sistema	Alto	Alto
Complejidad del sensor	Bajo	Alto

Tabla 3.2 Rendimiento de los sensores CCD y CMOS

Rendimiento	CCD	CMOS
Respuesta	Moderado	Ligeramente mejor
Rango dinámico	Alto	Moderado
Uniformidad	Alto	Bajo a moderado
Disparo uniforme	Rápido, común	Pobre
Velocidad	Moderado a Alto	Alta
Windowing	Limitado	Extensivo
Biasing and Clocking	Múltiple, voltaje alto	Sencillo, voltaje bajo

De acuerdo a las tabla 3.1 y 3.2, el sensor más adecuado para esta aplicación es el sensor CMOS, por su bajo consumo de energía debido a que integra en un solo chip mediante circuitos electrónicos la conversión de luz en carga eléctrica y para luego ser digitalizado (conversor análogo/digital) que ello hace que consuma menos energía y que no requieran circuitos externos que puedan generar ruido en las imágenes y que en los últimos años han subsanado el tema del sacrificio de la superficie disponible para captar la luz mediante el avance de la litografía en la electrónica. La calidad de la imagen del CMOS es similar a la del sensor CCD así mismo la respuesta del sensor CMOS es ligeramente mejor que el CCD, por tener integrado el conversor A/D.

### 3.3.1 Comparación de 3 Modelos de Sensores

Respecto a los modelos de cámaras revisados se evaluó: Tetracam ADC Lite, MS-4100 (Ver Anexo C) y el Sistema TTAMRSS (Sistema de teledetección multispectral en el aire Texas Tech). (Ver Anexo B)

En la Tabla 3.3, se muestra un cuadro comparativo de las cámaras revisadas.

Tabla 3.3 Cuadro Comparativo de 3 tipos de cámaras con Sensores CCD y CMOS

<b>Fabricante</b>	<b>Tetracam ADC</b>	<b>Sistema Geoposicional MS 4100</b>	<b>TTAMRSS</b>
<b>Sensor</b>	Sensor CMOS de 3.2Megapixel a 5.0Megapixel	Tres sensores CCD	2 Cámaras Dalsa 1M30
<b>Exposicion</b>	Automático/Manual	Automático/Manual	Manual
<b>Bandas Cubiertas</b>	Verde, Rojo y NIR	Azul, Verde, Rojo y NIR	Rojo y NIR
<b>Tamaño de Imagen</b>	2048x1536 para 3.2Megapixel y 2560x1920 para 5.0 Megapixel	1920x1080 Megapixel	Cada Camara 1024x1024 Megapixel
<b>Imagen Digital</b>	8bit / 10bit	8bit	12bit
<b>Velocidad de captura de Imagen (Incluye escritura a almacenamiento)</b>	Una Imagen /de 3 a 10seg	Una Imagen/2 seg	Una imagen/seg
<b>Peso</b>	640gr	1.8Kg	26Kg
<b>Trigger GPS</b>	Secuencial waypoint trigger a traves de SensorLink (\$495.00)	ShapeFile polygon trigger a traves de Dragonfly (\$3000.00)	Waypoint Trigger a traves de Tracker.
<b>Costo</b>	\$5000.00	\$20000.00	\$80000.00

En el cuadro comparativo (Tabla 3.3) se puede observar que las cámaras Tetracam son de bajo costo y se usan especialmente para vuelos de baja altura con equipos

controlados en forma remota. Los demás sistemas son de alto costo, y son sistemas no recomendados para plataformas de baja altura con limitada carga. Por este motivo se selecciona la cámara Tetracam.

Con la cámara tetracam se tiene una captura de imágenes lenta, lo cual no afecta el procesamiento de imágenes.

### 3.3.2 Características de la Cámara Tetracam

A continuación se detalla la información de las cámaras que se usaran en este estudio: Tetracam ADC-Lite (ADC – Cámara Digital para la Agricultura) y Tetracam ADC-FX (Figura 3.5).

La cámara ADC-Lite es óptima en la captura de imágenes ya que tiene peso muy ligero (198.45 gramos), tiene un sensor de 3.2 Megapixel optimizada para captar longitudes de onda de luz visible mayores que 520nm y del infrarrojo cercano hasta 920nm, su uso principal es determinar las frecuencias de la luz reflejada y absorbida por la vegetación.

La cámara ADC-FX es una modificación de ADC-Lite, que viene con un banco de filtros ópticos, su diferencia con el sensor ADC-Lite es que es un sensor monocromático y los filtros a usar pueden ser reemplazables.

Las especificaciones técnicas de ambas cámaras se describen en la Tabla 3.4.



Figura 3.5 Cámaras Tetracam ADC Lite y ADC-FX  
Fuente: [http://www.tetracam.com/PDFs/ADC\\_Lite\\_Brochure.pdf](http://www.tetracam.com/PDFs/ADC_Lite_Brochure.pdf)

Tabla 3.4 Especificaciones Técnicas de la Cámaras Tetracam ADC-Lite y FX

Característica	ADC Lite	ADC – FX
Píxeles Efectivos	2048x1536	1280x1024
Bandas espectrales	Rojo, Verde y Cercano Infrarrojo (aproximación TM2, TM3 y TM4)	Banda TM 1 (450 - 520 nm) – Azul Verde Banda TM 2 (520 - 600 nm) - verde Banda TM 3 (630 - 690 nm) - rojo Banda TM 4 (760 - 900 nm) – Cercano Infrarrojo.
Indices	Proporciona información necesaria de NDVI, SAVI, segmentación canopy y ratios NIR/Verde	Proporciona información necesaria de NDVI, SAVI, segmentación canopy y ratios NIR/Verde
Almacenamiento de Imágenes	10 bit DCM sin pérdida, Formato RAW de 8 bits y 10 bits formato .	10 bit DCM sin pérdida, Formato RAW de 8 bits y 10 bits formato
Filtro	Filtro RGB	Adicionales ó alternativos se pueden añadir ó sustituir el conjunto de Landsat.
Lente	8.5nm, opcional 4.5nm – 10nm distancia focal variable de lentes también están disponibles.	8.5nm
Uso de baterías	8 AA	8AA
Opciones de Fuente de Energía	Solo externo: 5 – 12 V	Solo externo: 5 – 12 V
Interface USB	Si	Si
Puerto Entrada /Salida	Multipin conector Entrada/Salida para su uso con Tetracam disparador remoto y accesorios del visor.	Multipin conector Entrada/Salida para su uso con Tetracam disparador remoto y accesorios del visor.
Capacidad de captura de imagen	Aprox. 3MB por imagen (formato DCM) limitado solo por la tarjeta CF (tarjeta de 2GB incluido)	Aprox. 1MB por imagen (formato DCM) limitado solo por la tarjeta CF (tarjeta de 2GB incluido)
Velocidad de captura de imagen	De 2 a 5 seg. por imagen, dependiendo del modo seleccionado para guardar el archivo.	De 2 a 5 seg. por imagen, dependiendo del modo seleccionado para guardar el archivo.
Entrada	5-12VDC RS-232 dedicado a la captura de GPS NMEA. Disparador (trigger) externo.	5-12VDC RS-232 dedicado a la captura de GPS NMEA. Disparador (trigger) externo.
Salida	En tiempo real de video NTSC o PAL, tanto para el visor y las operaciones del menú.	En tiempo real de video NTSC o PAL, tanto para el visor y las operaciones del menú.
Memoria	2GB	2GB
Software de proceso de imágenes	Tetracam PixelWrench2 Application Software (para Windows)	Tetracam PixelWrench2 Application Software (para Windows)
Dimensiones	114mmx77mmx22mm sin lente 8.5nm 114mmx77mmx60.5mm con lente 8.5nm	114mmx77mmx22mm sin lente 8.5nm 114mmx77mmx60.5mm con lente 8.5nm
Peso	200gr	200gr



### 3.3.3 Sensor de Cámara Tetracam

#### a) Especificaciones Principales

La cámara Tetracam ADC-Lite usa el sensor Omnivision modelo OV3620 el cual tiene las siguientes especificaciones técnicas mostradas en la Tabla 3.5 (Ver Anexo A)

Tabla 3.5 Especificaciones Técnicas principales del Sensor CMOS OV3620

	<b>QXGA</b>	2048 x 1536
<b>MATRIZ DE TAMAÑO</b>	<b>XGA</b>	1024 x 768
	<b>DV</b>	1024 x 510
	<b>HF</b>	1024 x 190
<b>FUENTE DE ALIMENTACION</b>		3.3VDC / 1.8VDC (+ 5%)
<b>REQUISITOS DE ENERGIA</b>	<b>ACTIVO</b>	< 40 mA
	<b>EN ESPERA</b>	< 10 $\mu$ A
<b>EXPOSICION ELECTRÓNICA</b>	<b>QXGA</b>	HASTA 1550:1
	<b>XGA</b>	HASTA 780:1
	<b>DV</b>	HASTA 520:1
	<b>HF</b>	HASTA 200:1
<b>FORMATO DE SALIDA</b>		10-bit Digital RGB Datos en Bruto
<b>ANGULO DE RAYO DEL JEFE (LENTE)</b>		12°
<b>TAMAÑO DEL LENTE</b>		12"
<b>TASA MÁXIMA DE TRANSFERENCIA AXIMA</b>	<b>QXGA</b>	7.5 fps (Fotogramas por segundo)
	<b>XGA</b>	20 fps
	<b>DV</b>	30 fps
	<b>HF</b>	78 fps
<b>SENSIBILIDAD</b>		> 1 v/Lux-sec
<b>RAZON S/N</b>		46 dB
<b>RANGO DINAMICO</b>		60 dB (Debido a limitaciones de ADC)
<b>MODO DE EXPLORACION</b>		Progresivo
<b>TAMAÑO DE PIXEL</b>		3.18 $\mu$ m x 3.18 $\mu$ m
<b>CORRIENTE RESIDUAL</b>		0.5 mV/seg a temperatura ambiente
<b>RUIDO DE PATRÓN FIJO</b>		<0.03% de V Pico a Pico
<b>AREA DE IMAGEN</b>		6.59 mm x 4.90 mm
<b>DIMENSIONES DEL SENSOR</b>		31mm x 31mm

El sensor CMOS incorpora un arreglo de imagen 2048x1536 (QXGA) y un conversor A/D de 10 bits capaz de operar a velocidades de hasta 7.5 fotogramas por segundo (fps) en el modo de máxima resolución. La tecnología de sensor patentada utiliza algoritmos avanzados para cancelar el ruido de patrón fijo (FPN), eliminar las manchas, y reducir drásticamente la floración. Los registros de control permiten un control flexible del tiempo, la polaridad y operación de la cámara, que a su vez permite al ingeniero darle una gran libertad en el diseño de productos.

### b) Características del Sensor

Las características del Sensor CMOS OV3620 son:

- Calibración óptica del nivel de negro.
- Línea óptica del nivel del negro de la capacidad de salida.
- Operación de Video ó Fotografía.
- Programable / Automático de la exposición y control de ganancia.
- Programable / Control automático de balance de blancos.
- Horizontal y Vertical sub-muestreo (4:2 y 4:2)
- Marco de alta velocidad de salida de modo de enfoque automático.
- Ventanas de imagen programable.
- Funciones de zoom y panorámica.
- Cuadro variable de control de velocidad.
- Interna / externa de sincronización de trama.
- SCCB interfaz esclava.
- Modos de Encendio, Apagado y Reinicio.

### c) Características Eléctricas

Las características eléctricas del sensor se muestran en las siguientes tablas (Tabla 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9) de acuerdo a la condición de operación, corriente continua, corriente alterna y tiempo.

Tabla 3.6 Características Eléctricas de acuerdo a la condición de Operación

<b>Parámetro</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Unidad</b>
Temperatura de Funcionamiento	0	40	°C
Temperatura de Almacenamiento	-40	125	°C

Tabla 3.7 Características de Corriente Continua ( $0^{\circ}\text{C} < T_A < 85^{\circ}\text{C}$ , Voltaje referenciado a GND)

Símbolo	Parámetro	Min	Tipo	Max	Unidad
<b>Suministro</b>					
$V_{DD-1}$	Voltaje de Alimentación.(DEVDD, ADVDD, SVDD)	3.0	3.3	3.6	V
$V_{DD-2}$	Voltaje de Alimentación (DOVDD)	3.0	3.3	3.6	V
$V_{DD-3}$	Voltaje de Alimentación (DVDD)	1.71	1.8	1.89	V
$I_{DD-1}$	Corriente de Alimentación (QXGA en 7.5fps)		20		mA
$I_{DD-2}$	Corriente de Alimentación ( $V_{DD-2}=3V$ , $V_{DD-3}=1.8V$ en 7.5fps sin E/S digitales de carga)		15		mA
<b>Entradas Digitales</b>					
$V_{IL}$	Bajo voltaje de Entrada			0.8	V
$V_{IH}$	Alto voltaje de Entrada	2			V
$C_{IN}$	Condensador de Entrada			10	pF
<b>Salidas digitales (carga estándar de 25 pF, 1,2 kW a 3 V)</b>					
$V_{OH}$	Alto Voltaje de Salida	2.4			V
$V_{OL}$	Bajo Voltaje de Salida			0.6	V
<b>Entradas SCCB</b>					
$V_{IL}$	SIO_C y SIO_D	-0.5	0	1	V
$V_{IH}$	SIO_C y SIO_D	2.5	3.3	$V_{DD}+0.5$	V

Tabla 3.8 Características de Corriente Alterna ( $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{DD} = 3V$ )

Símbolo	Parámetro	Min	Tipo	Max	Unidad
<b>Parámetros ADC</b>					
B	Ancho de Banda Analógico		12		Mhz
DLE	Error de Linealidad Diferencial DC		0.5		LSB
ILE	Error de Linealidad Integral DC		1		LSB
	Config. de Tiempo de reinicio de Hardware			<1	ms
	Config. de Tiempo de reinicio de Software			<1	ms
	Config. de Tiempo para cambiar el modo XGA/QXGA			<1	ms
	Config. de Tiempo de valores de registro			<300	ms

Tabla 3.9 Características de Tiempo.

Símbolo	Parámetro	Min	Tipo	Max	Unidad
<b>Oscilador y la Entrada de Reloj</b>					
$f_{osc}$	Frecuencia (XCLK1, XCLK2)	8	24	48	MHz
$t_r, t_f$	Entrada de Reloj de subida / bajada			2	ns
	Entrada de Reloj del ciclo de trabajo	45	50	55	%

En la figura 3.6 se muestra la respuesta espectral del sensor CMOS de la cámara.

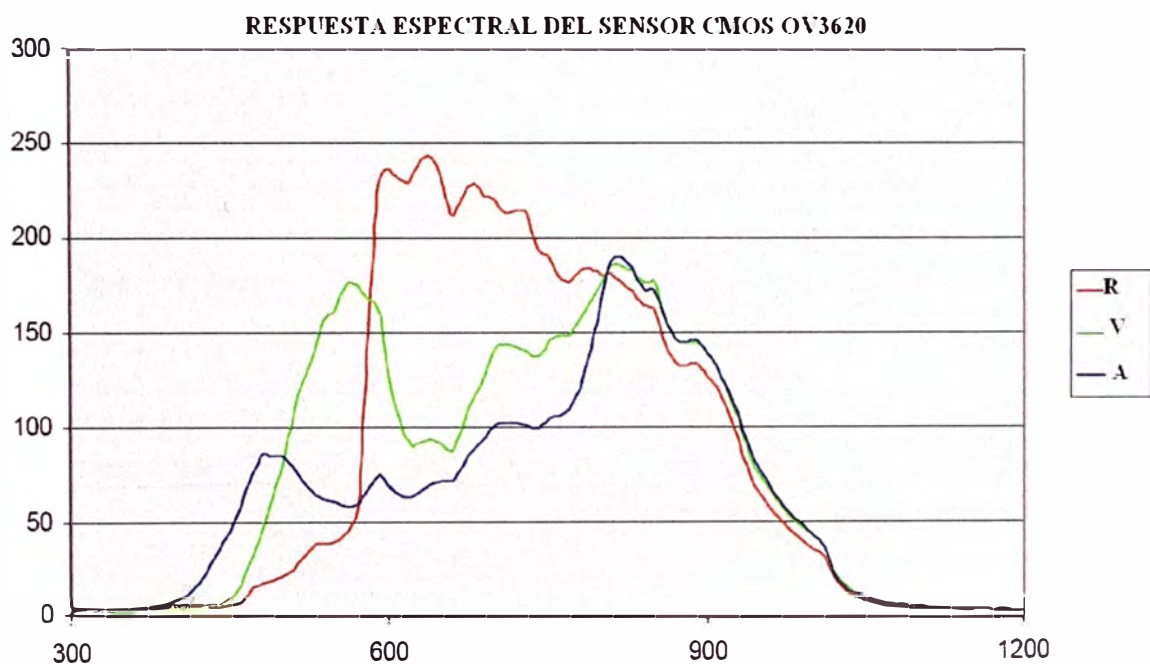


Figura 3.6 Respuesta espectral del sensor ADC con Filtro Bayer  
Fuente <http://www.tetracam.com>

Las cámaras Tetracam ya vienen con el Filtro RGB (Bayer) pero adicionalmente la cámara ADC – FX viene con filtros que pueden ser reemplazados y evaluados individualmente según el índice de vegetación que se desea obtener como por ejemplo el NDVI. Estos filtros son adquiridos por separados.

En la Figura 3.7 se ilustra el diagrama de bloques del sensor CMOS OMNIVISION de la cámara Tetracam [27], donde se observa:

- El sensor de arreglo de imágenes es un dispositivo de imagen CMOS que contiene 3215680 pixeles con el filtro de color que sigue el patrón de Bayer.
- La ganancia del amplificador analógico puede ser programado por el usuario o controlado por el circuito interno de control automático de ganancia.
- Las señales amplificadas son entonces equilibradas con un canal de balance. En este bloque, la ganancia del canal rojo / azul se aumenta o disminuye para que coincida con

el nivel de luminancia del canal verde y la corrección de gama se realice. El rango de ajuste es de  $\pm 9$  dB.

- El balance de canal se puede realizar manualmente ó por el controlador de balance automático de blancos.
- El conversor Analógico Digital es de 10 bits y con una frecuencia de muestreo de 12Mhz
- Después que los datos de píxeles son digitalizados, la calibración del nivel de negro se puede aplicar antes de la salida de datos. El bloque de nivel de calibración negro resta el nivel de la señal óptica promedio de píxeles negro para compensar la corriente oscura en la salida de píxeles. Esta calibración puede ser desactivada por el usuario.

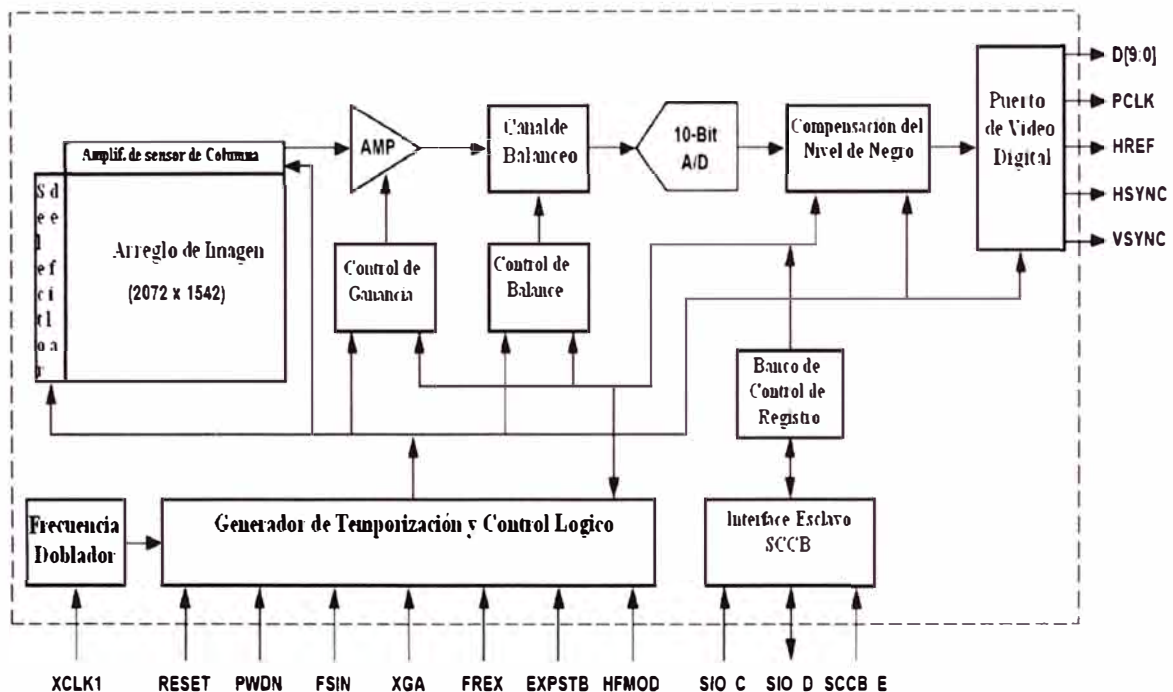


Figura 3.7 Diagrama de bloque funcional del Sensor CMOS

Fuente: [www.ovt.com](http://www.ovt.com)

### 3.4 GPS que se instala con la cámara ó equipo de computo(sensor receptor)

Se revisaron las marcas de GPS Garmin, Globalsat y ProGin cuyos modelos son receptores con antena incluida.

De acuerdo a las características que se detallan en la Tabla 3.10 se seleccionó el GPS PROGIN SM-209, debido a que este modelo consume menos energía, es de menor costo y además que el rendimiento de este modelo se compara con las de Garmin y Globalsat. (Ver Figura 3.8)

En el siguiente cuadro se detallan las características técnicas de los modelos revisados: (Ver Tabla 3.10)

Tabla 3.10 Cuadro comparativo de Receptores GPS con antena incluida.

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	<b>GARMIN GPS 16</b>	<b>GLOBALSAT BU 353</b>	<b>PROGIN SGM- 209</b>
FRECUENCIA	L1, 1575.42 MHz	L1, 1575.42 MHz	L1, 1575.42 MHz
SENSIBILIDAD ALTA	-165dBm	-159dBm	-159dBm
SOPORTA NMEA	SI	SI	SI
PUERTOS DE COMUNICACION	RS-232 CABLE INTERFACE	CON USB	USB
CANALES DE SEGUIMIENTO DE VISTA	12 CANALES	20 CANALES	20 CANALES
ALTITUD	<18000m	<18000m	<18000m
VELOCIDAD	<515m/seg	<515m/seg	<515m/seg
ACELERACION	<4g	<4g	<4g
VOLTAGE DE INGRESO	3.3V – 6.0V	4.5V – 6.5V	5.0V
CORRIENTE SUMINISTRO	80mA	80mA	44Ma
COSTOS	\$97.99	\$79.99	\$57.00

El equipo GPS es usado para conectarse con una de las cámaras mediante conexión USB ó RS-232.

Este GPS es de bajo ruido, alta sensibilidad y bajo consumo de energía muy usado en seguimiento vehicular, cartografía, topografía, etc. El GPS detecta hasta 20 satélites a la vez ofreciendo un rápido tiempo de respuesta.



Figura 3.8 Antena GPS ProGin SGM-209

Fuente: [http://www.progin.com.tw/sgm209\\_en.htm](http://www.progin.com.tw/sgm209_en.htm)

A continuación se muestran algunas características adicionales técnicas del GPS:

- Diseño resistente al agua para todo tipo de clima.
- LED azul para indicar una posición fija.
- Integrado de bajo ruido, alta ganancia de la antena activa.

- Soporta SBAS (WAAS y EGNOS), opcional.
- Condiciones de entorno de trabajo  
Rango de operación de temperatura: -40°C a 85 °C  
Humedad de Operación: 5% a 95% sin condensación.  
A prueba de agua.

El GPS es configurado para trabajar con el estándar NMEA. El protocolo de salida de la sentencia NMEA es de 4800 baudios, 8 bits de datos, 1 bit de parada, sin paridad.

### 3.5 Equipo Intel Atom FITCP 2

En el equipo Intel Aton FITCP2 con SSD (mostrado en la Figura 3.9) fue elegido por ser un equipo ligero cuyo peso total es de 820gr incluido su batería.

En el equipo se instala el software SensorLink el cual controla la toma de imágenes con las coordenadas ya definidas del campo de cultivo.

En la Tabla 3.11 se muestran las características técnicas del equipo FITPC2 (Tabla 3.6)

Tabla 3.11 Características de Equipo FITPC2

Procesador	Intel Atom Z550 2GHz / Z530 1.6GHz / Z510 1.1GHz
Chipset	Intel US15W SCH
Memoria	1GB / 2GB DDR2-533 en la tarjeta
Almacenamiento	Bahia Interna for 2.5" SATA HDD miniSD socket
Pantalla & Gráficos	Intel GMA500 acelerador gráfico Hardware con acelerador de video de H.264, MPEG2, VC1 y WMV9 DVI Digital de salida hasta 1920 x 1200 através de un conector HDMI
Audio	Linea de salida, linea de ingreso, micrófono 5.1 Channels S/PDIF
Red	1000 BaseT Ethernet 802.11n WLAN (basado en RaLink RT3090, antena simple)
USB	6 USB 2.0 Puertos de alta velocidad.
IR	Programable del consumidor , receptor de IR
Sistema Operativo	Windows 7 Pro
Dimensiones	101x115x27mm
Peso	370 gramos incluido el disco duro
Batería	Batería Universal Portable de 12V para 5 horas y de 450gr

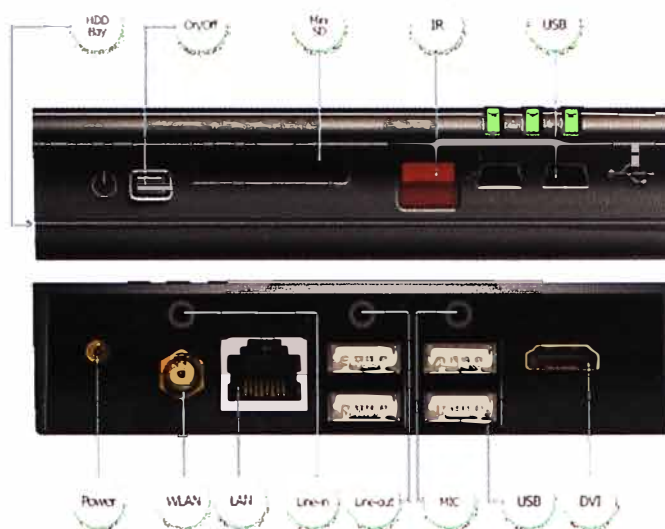


Figura 3.9 Equipo FIT-PC2

Fuente: <http://www.fit-pc.com/web/fit-pc2/fit-pc2-specifications>

### 3.6 Software

Las cámaras Tetracam vienen con dos aplicativos: PixelWrench2 y SensorLink .

#### 3.6.1 PixelWrench2

Es un editor de imágenes con diversas herramientas específicas para imágenes multi-espectrales y trabaja con cámaras Tetracam ADC y MCA. PixelWrench2 es necesario para administrar las conexiones a la cámara y para extraer información útil de las imágenes NIR capturadas por la cámara. PixelWrench2 puede abrir archivos de imágenes propietarios de ADC como DCM10, RAW de Bits 8 y 10, y archivos de varios tipos estándares como BMP, JPEG, TIF, PNG, etc.

Se puede seleccionar el modo DCM10 que comprime la imagen sin pérdida de información para almacenar más imágenes en el espacio para la tarjeta de memoria disponible ó seleccionar RAW 10 ó RAW 8 que son formatos más rápidos sin compresión pero los archivos son más grandes.

La mayor tasa de captura es para el formato de archivo RAW de 8 Bits a unos 3 segundos por imagen. La velocidad depende en parte de las características de la tarjeta CF. Si se desea más precisión, el formato RAW de Bits 10 es el siguiente más rápido pero que requiere 6 segundos por imagen.

Los archivos RAW son muy grandes, pero el formato DCM reduce el tamaño de archivo a la mitad y tarda 10 segundos por imagen. Una de las ventajas del DCM es que contiene características que aceleran la velocidad de acceso de imagen usando Pixelwrench2.



A continuación se muestran las ventajas y desventajas de los formatos de archivos para la captura de imágenes en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12 Ventajas y desventajas de los formatos de archivos

Formato de Archivo	Ventajas	Desventajas
RAW de 8 Bits	Es más rápido en tiempo de ciclo	Menor rango dinámico
RAW de 10 Bits	Es más rápido en tiempo de ciclo con un rango dinámico completo.	Los archivos grandes
DCM 10	Tamaño de archivo más pequeño con un rango dinámico más completo.	Mayor tiempo entre las imágenes

### 3.6.2 SensorLink

El Software SensorLink permite activar la captura de imágenes mediante triggers de acuerdo a puntos predefinidos luego de recibir del sensor GPS puntos georeferenciados.

El software puede ser instalado en equipos con Windows 98, 2000 ó XP y se comunica con el sensor de GPS mediante sentencias NMEA. [25] (Ver Figura 3.10)

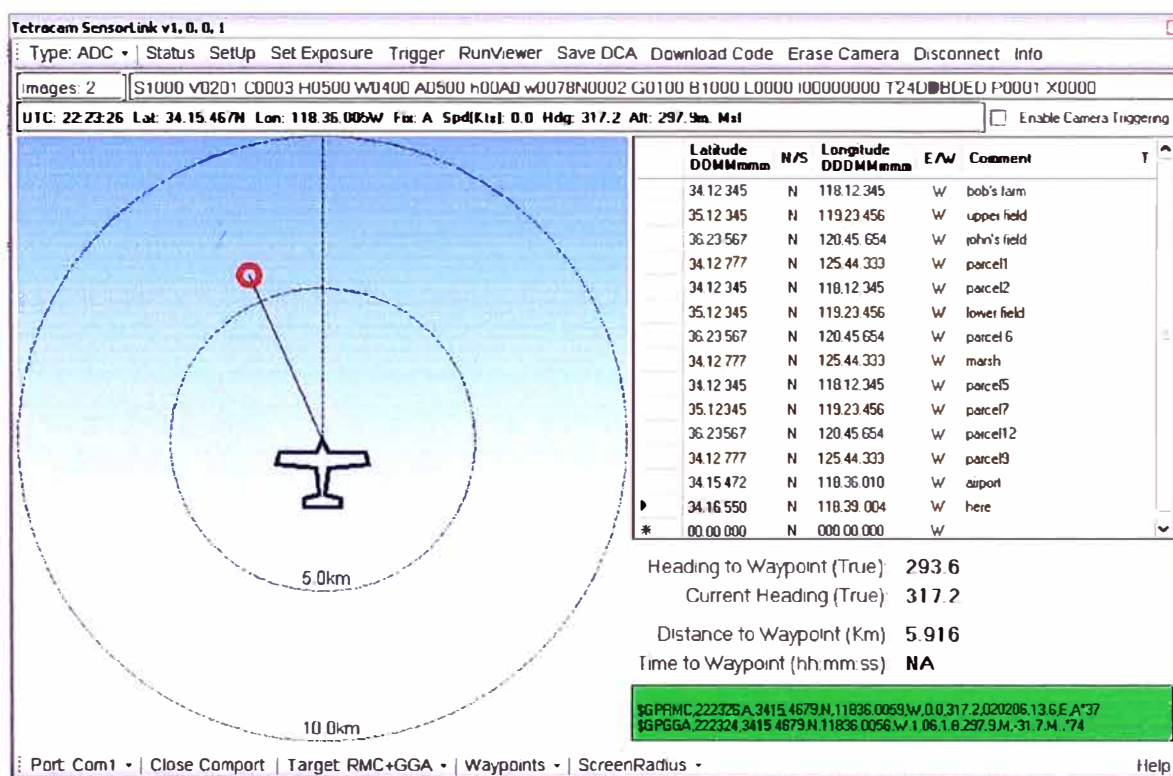


Figura 3.10 Herramienta SensorLink de Tetracam

Fuente: [http://www.tetracam.com/Products\\_Sensorlink.htm](http://www.tetracam.com/Products_Sensorlink.htm)

### 3.7 Almacenamiento de Imágenes

Las cámaras vienen con una memoria CF de almacenamiento de 2GB y las velocidades y tamaños de las imágenes de acuerdo al formato que se elija, se muestra en la Tabla 3.13

Tabla 3.13 Capacidad y Velocidad según el formato de archivo

<b>Formato de Archivo</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Velocidad</b>
DCM10	Aprox. 2.3 MB por imagen	Captura al final de ciclo: 7 seg.
RAW 10	6.15MB por imagen	Captura lista: 4 seg.
RAW 8	3.07MB por imagen	Captura lista: 3 seg.

### 3.8 Costos

La presente propuesta tiene los siguientes costos, de acuerdo a los diferentes componentes que forman parte de esta solución, para la captura de imágenes multiespectrales mediante vuelos de baja altura controlados en forma remota: (Ver Tabla 3.14)

Tabla 3.14 Costos de los elementos de la propuesta

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TOTAL(S)</b>
AEROPLANO	MODELO KADET 2400	612.10	1	612.10
MOTOR Y BATERIA	MOTOR ELECTRICO		1	135.00
SERVO S9252	SERVO	110.00	6	660.00
BATERIA NR4J	INCLUIDO EN TRANSMISOR	-	1	-
RECEPTOR R6014HS	INCLUIDO EN TRANSMISOR	-	1	-
TRANSMISOR	FUTABA 10CGA	650.00	1	650.00
CAMARA TETRACAM	ADC-LITE	3795.00	1	3795.00
SOFTWARE DE APLICACION	SENSORLINK	495.00	1	495.00
CABLE	CABLE SERIAL DE GPS	49.00	1	49.00
MEMORIA 2048MB	TARJETA FLASH COMPACTA	69.00	1	69.00
RECEPTOR GPS	MARCA PROGIN SGM 209	57.00	1	57.00
			<b>TOTAL</b>	<b>6522.1</b>

## **CAPITULO IV**

### **CASO DE ESTUDIO: INSTRUMENTACION DE PRECISION PARA LA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES**

#### **4.1 Introducción**

A nivel mundial Perú ocupa una posición que está por debajo de la décima ubicación en la producción de Papa, cultivando en forma tradicional y dependiendo solo de la experiencia del agricultor, en cambio en países como Estados Unidos, Europa y algunos países latinoamericanos (como Argentina y Brasil) se emplean las herramientas de la agricultura de precisión. Una de estas herramientas es la captura de imágenes multiespectrales mediante el uso de imágenes satelitales.

Es importante reducir los costos de la obtención de las imágenes multiespectrales satelitales de modo que esta herramienta sea más accesible a los agricultores.

El presente estudio tiene por objetivo plantear una propuesta para la obtención de imágenes multiespectrales en el espectro visible y del infrarrojo cercano, basado en cámaras digitales con sensores CMOS en plataformas de aeronaves controladas en forma remota que permitan obtener imágenes multiespectrales, las cuales den información necesaria para el manejo de los cultivos para contribuir a incrementar la producción de la Papa.

#### **4.2 Presentación del asunto de Estudio**

La siguiente propuesta de adquisición de imágenes multiespectrales fue probada en una comunidad en el departamento de Cuzco. (Figuras 4.1 y Figura 4.2).

El sistema de Adquisición de imágenes permitirá obtener resultados del índice de vegetación NDVI de los campos de cultivo de Papa los cuales depende de los parámetros ó bandas NIR y Red (Las variables RED y NIR están definidas por las medidas de reflexión espectral adquiridas en las regiones del rojo e infrarrojo cercano, respectivamente) que entrega las imágenes multiespectrales.

La comunidad donde se realizó la adquisición de imágenes multiespectrales fue en Chacllabamba Alta con un área 2285 Hectáreas.

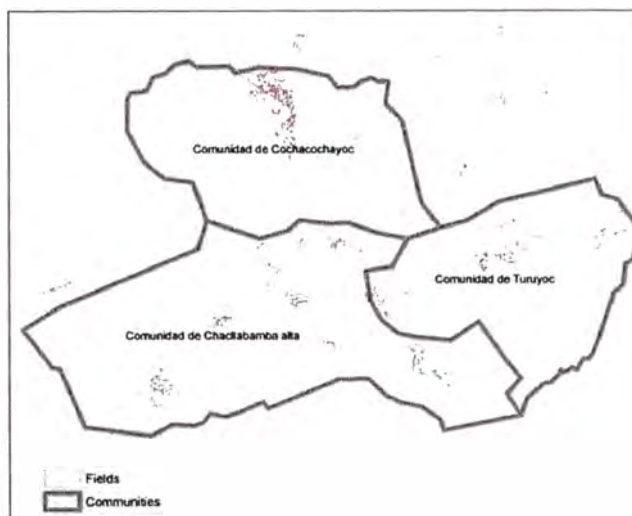


Figura 4.1 Mapa con las comunidades y sus campos de cultivo.  
Fuente: CIP



Figura 4.2 Ubicación de las comunidades de cultivo de Papa ruente CIP

### 4.3 Implementación de la solución propuesta para el caso de Estudio

La propuesta de Adquisición de imágenes multiespectrales, está basado en un sensor CMOS, con rango en el espectro de los 520nm hasta los 920nm, para la toma de imágenes multiespectrales en el espectro visible y del infrarrojo cercano de los cultivos de Papa.

Como se observa en la tabla 3.1 y 3.2 especificados en el capítulo III. El sensor más adecuado para esta aplicación es el sensor CMOS, por su bajo consumo de energía debido a que integra en un solo chip mediante circuitos electrónicos la conversión de luz en carga eléctrica y para luego ser digitalizado (convertor análogo/digital) que ello hace que consuma menos energía y que no requieran circuitos externos que puedan generar ruido en las imágenes y que en los últimos años han subsanado el tema del sacrificio de la superficie disponible para captar la luz mediante el avance de la litografía en la electrónica. La calidad de la imagen del CMOS es similar a la del sensor CCD así mismo la respuesta del sensor CMOS es ligeramente mejor que el CCD, por tener integrado el convertor A/D.

El sensor CMOS usado por las cámaras Tetracam tiene las siguientes características:

- Operación de Video y toma de imagen.
- Escaneo y ganancia de los bits programable.
- Bajo consumo de corriente.
- Imágenes de 2048x1536 (3.2 Megapixel)
- Entrega Información digital de 8 y 10 bits.
- Matriz de Imagen: 6.59x4.9nm.
- Tamaño de pixel: 3.18  $\mu\text{m}$ .

Las cámaras Tetracam son usados en la Agricultura de Precisión para la captura de imágenes multiespectrales y la resolución con que trabaja está diseñado especialmente para este tipo de aplicaciones.

Las cámaras Tetracam ADC están diseñadas para ser montados en plataformas de vehículos controlados en forma remota, que a su vez vienen con un Software que permite procesar las imágenes y poder obtener los índices de vegetación para analizar el estado del suelo ó cultivo.

#### 4.3.1 Esquema de la Solución Propuesta

En la figura 4.3 se muestra el diagrama de bloques de diseño para la adquisición de imágenes.

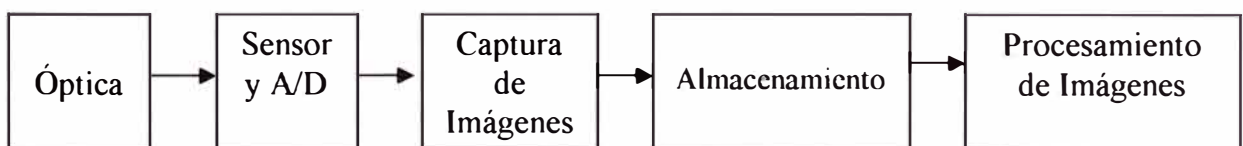


Figura 4.3 Diagrama de Bloques del Sistema de Adquisición de Imágenes

Fuente: Diseño Propio

En esta figura, el bloque de entrada corresponde a los lentes de 8.5 mm que tendrá la cámara digital el cual es Tetracam ADC-Lite. El segundo bloque es el sensor que es parte del módulo de la cámara, la cual tiene integrado un conversor Análogo/Digital de 10 bits y frecuencia de muestreo de 12Mhz . El tercer bloque es la captura de imágenes que trabajará con el Software SensorLink y el sensor GPS. El cuarto bloque es el almacenamiento de las imágenes que dependerá del tipo de formato que se elija. Y por último el quinto bloque es el procesamiento de las imágenes con el Software PixelWrench2 con el que se obtendrá el índice de Vegetación NDVI.

También cabe indicar que todo el procedimiento de medición presentado en el diagrama de bloques está montado en una plataforma aérea controlado en forma remota que volara a más de 100 m de altura.

#### **4.3.2 Descripción de la Solución Propuesta.-**

El diseño del Sistema de Adquisición de Imágenes Multiespectrales se encuentra montado sobre un aeroplano marca Kadet (ver Figura 4.4) teniendo presente la carga a transportar en donde la capacidad de carga útil es de 1.5 kilogramo aproximadamente. El avión tiene una envergadura de 2.4 metros y un fuselaje de 1.8 metros, así mismo tiene un motor eléctrico sin cepillo. El motor eléctrico evita vibraciones como los que genera los motores de combustión.

El tiempo de duración de vuelo del aeroplano ha sido aproximadamente de 25 minutos y las realizó con alturas de 500 metros. El rango es limitado para visibilidad del operador ó la capacidad de transmitir el cual puede ser de hasta 800 metros. Además los aviones con motores eléctricos equipados con baterías de litio polimero resultan ser más convenientes.

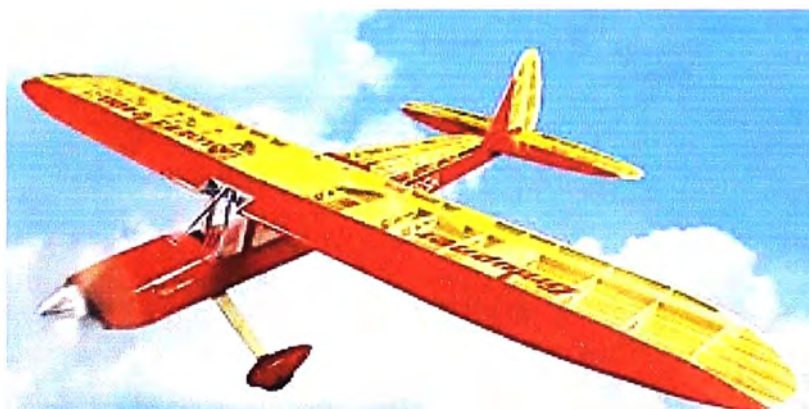


Figura 4.4 Aeroplano Kadet 2400

Fuente: <http://v-eastonline.com/products/WP-KADETT-2400-.html>

El aeroplano Kadet usa el dispositivo de control Futaba 10CGA 2.4Ghz y el receptor R6014HS.

De acuerdo al diagrama de bloques mostrado en la Figura 4.3 se pasa a describir los componentes y funcionamiento de cada bloque.

**a) Optico**

Las cámaras Tetracam vienen con un lente de 8.5mm – montura C (lente de longitud focal fija), pero como opcional tiene una lente 4.5mm a 12mm de variación focal (montura CS). El lente de 8.5mm tiene las siguientes características: (Ver Tabla 4.1)

Tabla 4.1

Modelo	C815B
Tamaño de Formato	2/3
Longitud Focal	8.5mm
Apertura Máxima de Relación	1:1.5
Montura	C
Rango de Iris	1,5
Angulo Horizontal de Vista	56.49°

A continuación se muestra como trabaja el lente en la cámara. (Ver Figura 4.5)

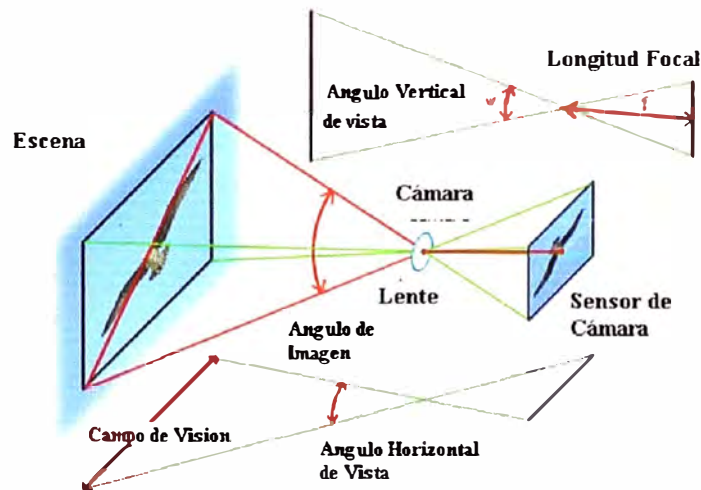


Figura 4.5 Gráfico con las propiedades de la lente en una cámara  
Fuente: <http://www.arquonauta.com/foros/>

Así mismo se muestra la ecuación para hallar la distancia focal:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \dots\dots\dots(4.1)$$

Donde:

$f$  = La longitud Focal (mm), es la distancia que hay entre la lente y el punto focal

$d_o$  = La distancia que hay desde la escena a la lente

$d_l$  = la distancia de la lente al sensor de la cámara

Para el caso de estudio por ejemplo  $f$  tiene el valor de 8.5mm,  $d_o$  el valor de 500000mm (500m) siendo  $d_l$  igual a 8.5001445mm.

Las cámaras Tetracam llevan un filtro detrás de los lentes long-pass. El sensor CMOS de la cámara tiene el filtro RGB Bayer

### **b) Sensor A/D**

Las cámaras Tetracam ADC Lite y ADC-FX se encuentran montados en el Aeroplano con sus respectivos baterías, además el sensor usado por las cámaras es CMOS el cual tiene integrado un conversor A/D. Las cámaras previamente fueron calibradas y configuradas para la obtención de imágenes.

El sensor CMOS usado en las cámaras Tetracam es el OV3620 (de la marca Omnivision) el cual tiene un Chip conversor Análogo/Digital de 10 bits de resolución capaz de operar hasta 7.5 fotogramas por segundo. El conversor A/D opera hasta 12Mhz y está totalmente sincronizado con el reloj de pixeles.

### **c) Captura de Imágenes**

La cámara ADC-Lite es configurada en modo de grabación DCM 10 en donde el tiempo de captura entre imágenes es de 8 a 10 segundos. Y la cámara ADC-FX es configurada con formato de video para NTSC.

Las imágenes y el video serán tomadas mediante un comando (trigger) que envía el software SensorLink a las cámaras Tetracam (conexión USB) luego de verificar que las coordenadas que tienen como referencia para la toma de imágenes se validan con las que envía el receptor GPS al equipo FITCP2. La conexión entre el equipo FITCP2 y el receptor GPS es USB. Para ello una de las coordenadas que se ingresó al Software fue: 13°01'25" Latitud Sur y 71°43'14" Longitud Oeste a una altitud 2,518 metros.

La velocidad promedio del aeroplano en la adquisición de imágenes fue de 62m/s por lo que la cámara le tomó recorrer como mínimo 496 metros y como máximo 620 metros para la adquisición de una imagen.

También se realizaron pruebas con formatos RAW que tomaban tiempo desde 3seg. a 6 seg. y de acuerdo a la velocidad promedio del aeroplano, la cámara ó el sistema recorría desde 186 metros hasta 372 metros para la toma de una imagen.



#### d) Almacenamiento

Para el almacenamiento de imágenes y video en las cámaras usan una memoria CF de 2GB de capacidad cuyo fabricante es Sandisk. Las tarjetas de memoria son usadas en formato FAT32.

#### e) Procesamiento de Imágenes

Para el procesamiento de imágenes se usa el Software PixelWrench2. Los archivos DCM 10 son archivos de imágenes que llevan en conjunto datos como una sentencia GPS (si es un GPS que se conecta a la cámara), el tiempo de exposición y el número de serie de la cámara. Los archivos DCM son en gran parte archivos imágenes en un formato propio comprimido sin pérdidas.

Los valores de los pixeles en bruto deben ser procesados para producir un “falso color” (mapa de bits)

Decimos falso color, porque la toma de la cámara ADC pone el infrarrojo cercano en el Bitplane rojo, la luz roja en el Bitplane verde y la luz verde en Bitplane azul. Esto se traduce en la vegetación de color rojo /rosado familiar para la mayoría de usuarios que observan imágenes multiespectrales. Una vez que la imagen en falso color está disponible para el Software PixelWrench2 puede extraer la imagen NDVI de ella.

#### 4.4 Resultados de Caso de Estudio

Luego de obtener las imágenes de las cámaras en un vuelo de 25 minutos, ellas son procesadas con el software de PixelWrench2 que nos permite visualizar la condición del cultivo y del suelo.



Figura 4.6 Campo de Cultivo de Papa en el caserío de Chacllabamba  
Fuente: Campo de Cultivo en Cusco

Las tomas de imágenes se realizaron en un área de aproximadamente dos hectáreas en el cual está cultivado el producto de la Papa dentro del caserío de Chacllabamba Alta. Estas tomas de imágenes se hicieron en el campo que se muestran en las figuras 4.6 y 4.7.



Figura 4.7 Vuelo del aeroplano cerca del sembrío en Chacllabamba Alta  
Fuente: Toma en campo de cultivo

Las imágenes obtenidas en formato DCM del sembrío son procesadas con el Software PixelWrench2 mediante la herramienta de edición que está en el Software. Los archivos obtenidos de la cámara tienen básicamente valores de los píxeles en bruto (números digitales), además de datos adjuntos de las sentencias de GPS (en este caso conectado a la cámara), más aun en el formato DCM es comprimido sin pérdidas. Los valores de los píxeles son procesados para producir un mapa de bits (falso color) y de esta forma extraer la imagen NDVI (Ver Figura 4.8).

Las imágenes NDVI obtenidas del procesamiento de imágenes con el PixelWrench2 realzan la cubierta correspondiente a la vegetación y se atenúa las de otras cubiertas tales como el suelo, agua y rocas del campo de cultivo. En la figura 4.9 se muestra el campo de cultivo de Papa con la imagen capturada de la cámara sin procesar.

Debido a que la mayor parte de la radiación solar recibida por las plantas en el visible, es absorbida por los pigmentos de las hojas, mientras que estos apenas afectan la radiación recibida en el infrarrojo cercano, por lo que presenta un alto contraste entre una baja reflectividad en el visible y una alta reflectividad en el infrarrojo cercano. Por lo tanto este

comportamiento permite separar con relativa facilidad, la vegetación sana de otras cubiertas.

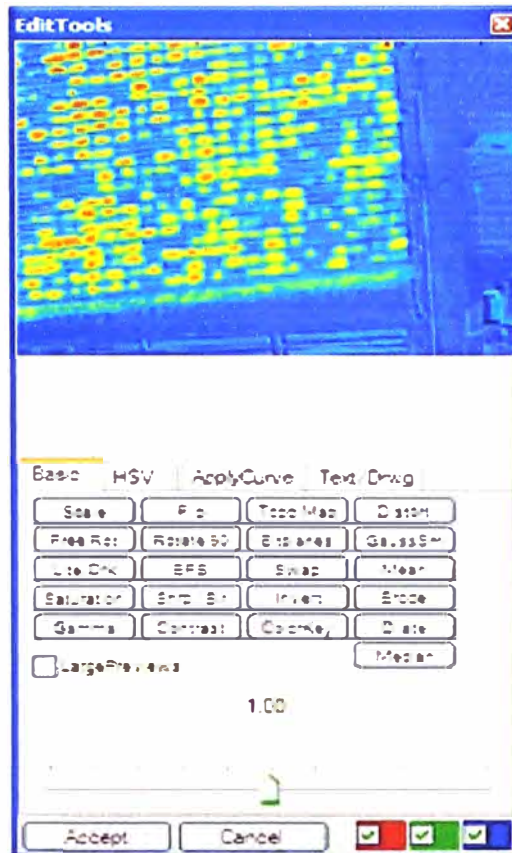


Figura 4.8 Software PixelWrench2 y su Herramienta de Edición  
Fuente: <http://www.tetracam.com>



Figura 4.9 Imagen de campo de cultivo sin procesar.

Fuente: Toma de foto en campo de cultivo

Con este comportamiento se basa el índice de vegetación NDVI en la que se combina las bandas Rojas e infrarrojo cercano del espectro electromagnético.

La fórmula del índice de vegetación NDVI es:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \dots\dots\dots(4.2)$$

NIR: Infrarrojo cercano

Red: Rojo visible

Un aspecto importante del índice NDVI es que varía dentro de los márgenes definidos (-1 a +1) que facilita notablemente su interpretación.

A continuación imágenes NDVI obtenidas del campo de cultivo de papa (Figura 4.10)

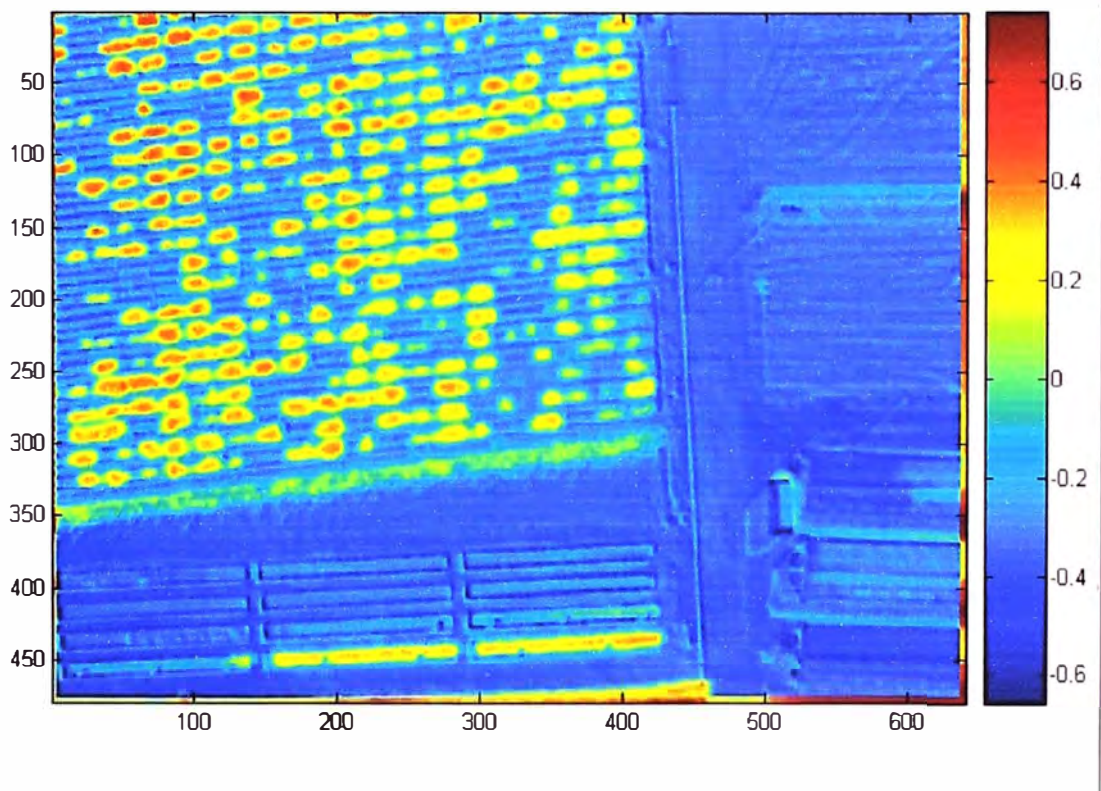


Figura 4.10 Imagen NDVI del campo de cultivo  
Fuente: Imagen procesado de Software PixelWrench2

De acuerdo a la fórmula 4.2 hallaremos algunos valores del NDVI con respecto a los datos obtenidos del procesamiento de las imágenes en las bandas NIR y RED:

<b>BANDA NIR</b>	<b>BANDA RED</b>	<b>NDVI (Valor Calculado)</b>
0.5	0.08	0.72
0.4	0.3	0.14

La Figura 4,10 se describe de la siguiente manera de acuerdo al índice:

- En el índice de 0 a -0.2 indica que hay zonas áridas ó pastizales.
- En el índice de 0 a 0.2 indica que hay matorrales u otras tierras boscosas.

- En el índice de 0.2 a 0.4 indica que hay vegetación normal.
- En el índice de 0.5 a 0.7 indica vegetación densa.

Como se puede observar los valores altos de NDVI puede indicar que determinadas zonas se han utilizado correctamente los insumos para el campo de cultivo mientras que un bajo valor de NDVI de la parte correspondiente del cultivo no se ha utilizado adecuadamente y se debe tomar decisiones correctas si el objetivo es lograr una alta productividad.

De las pruebas realizadas se tienen los siguientes resultados:

- Las pruebas preliminares muestran resultados prometedores que demuestra la viabilidad del sistema y se puedan obtener imágenes multi-espectrales de una manera ordenada utilizando la herramienta de procesamiento de imágenes que viene con las cámaras Tetracam.(Powerful PixelWrench2)
- Las cámaras Tetracam usan un tiempo de 3 a 10 segundos para la toma y almacenamiento de la imagen, la mayoría del tiempo es usado para el almacenamiento a la memoria flash. También debe de considerarse el tipo de resolución al momento de configurar las cámaras.
- La velocidad promedio del aeroplano fue de 62 m/s lo cual le toma 3 segundos en recorrer 186 m, esto significa que la cámara tomará imágenes una tras otra después de haber recorrido 186 m.
- La toma de imágenes durante días nublados se puede realizar por debajo de la cubierta de nubes, aunque los valores de reflectancia global se reducirá y se debe volver a ajustar las ganancias de las cámaras a ser más altos.
- El tiempo promedio de duración de los vuelos de prueba fueron de 25 min y pueden alcanzar alturas de hasta 500 m. El rango es limitado para la visibilidad del operador ó la capacidad de transmitir el cual puede ser de hasta 800 m. Y como se indicó anteriormente los aviones con motores eléctricos equipados con baterías resultan ser más convenientes.

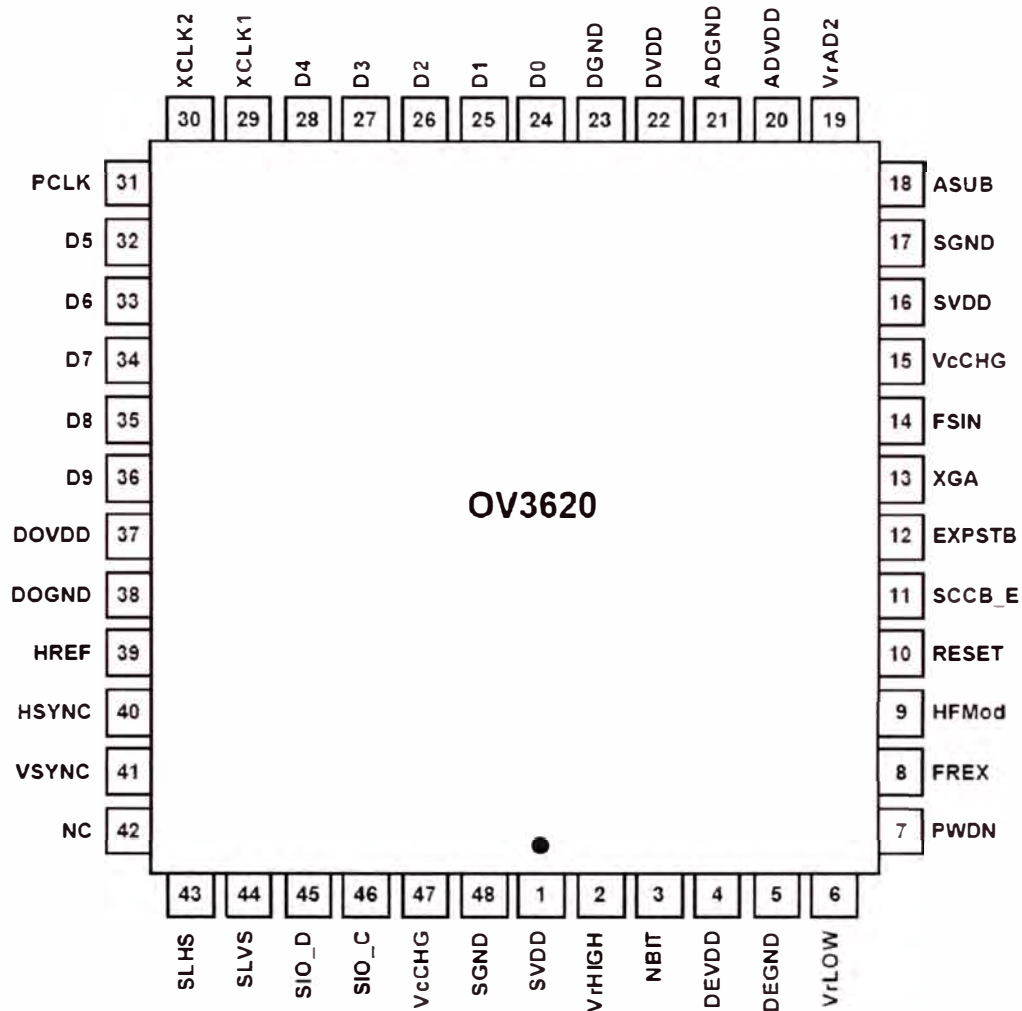
## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El realizar la adquisición de imágenes multiespectrales haciendo uso de un avión no tripulado, cámara multiespectral (sensor CMOS), receptor GPS, transmisor y receptor de control del avión, motor, servos y equipo de cómputo, es una solución que es más fácil de mantener y que tiene un costo menor que los satélites.
2. El sensor CMOS OV3620 utilizado por la cámara Tetracam utiliza filtros adecuados para obtener imágenes en crudo de la reflectividad de la luz de los objetos reflejados y luego de ser procesados, obtener el índice de vegetación NDVI.
3. Los sensores CMOS tienen menor consumo de energía que el CCD y su calidad de imagen es similar al CCD.
4. La alternativa propuesta es viable en su construcción pues solucionan las principales limitaciones de las imágenes satelitales como su autonomía, el costo, entre otros.
5. La tecnología de agricultura de precisión usando el sistema UAV (vehículos controlados a control remoto) con percepción remota ofrece a las pequeñas y medianas fincas un mejor sistema de adquisición de datos en lugar de imágenes satelitales. El sistema es capaz de proporcionar a los cultivos información vital de los suelos en términos espectrales y espaciales, con imágenes de menor resolución temporal a un precio asequible.
6. El índice NVDI proporciona registros cualitativos de densidad de cobertura vegetal del cultivo, y también mediante registros posteriores a futuro sus cambios en el tiempo.
7. Los agricultores deben evitar el error de la oportunidad perdida y debe adoptar el sistema UAV con percepción remota y la tecnología de la Agricultura de Precisión para su cultivo. Se requiere más investigación para estimar el punto de equilibrio de costos del sistema que conduce a la adopción plena de la Agricultura de Precisión en escala en los países en desarrollo.

**ANEXO A**  
**Pines del Sensor CMOS OV3620**

## DESCRIPCIÓN DE PINES

En la siguiente tabla se describe los 48 pines que tiene el sensor CMOS OV3620, así mismo el gráfico del sensor con sus pines.



Numero de PIN	Nombre	Tipo de Pin	Función/Descripción
01	SVDD	Potencia	3.3V de alimentación para el conjunto de sensores
02	VrHIGH	Análogo	Alta referencia de sensor - conectado a tierra usando un condensador de 0.1uf
03	NBIT	Análogo	Línea bit de referencia de sensor - conectado a tierra usando un condensador de 0.1uf
04	DEVDD	Potencia	3,3 V de alimentación para el decodificador de matriz de sensores
05	DEGND	Potencia	Sensor a tierra de arreglo de decodificador
06	VrLOW	Análogo	Baja de referencia de sensor - conectado a tierra usando un condensador de 0.1uf
07	PWDN	Entrada(0) <sup>a</sup>	Modo habilitado de Apagado, activos de alta.
08	FREX	Entrada(0)	Activación instantánea – utilizado para activar una secuencia instantánea.
09	HFMod	Entrada(0)	Marco de alta para el modo de selección ON/OFF



			0: HF modo OFF 1: HF modo ON
10	Reset	Entrada(0)	Reinicio del CHIP, activos de alta.
11	SCCB_E	Entrada(0)	SCCB interface de la señal habilitada, activa a nivel bajo
12	EXPSTB	Entrada(0)	Exposición instantánea iniciado con el disparo 0: Sensor inicia la exposición (solo es eficaz en el modo instantáneo) 1: Sensor se mantiene en el modo de reinicio.
13	XGA	Entrada(0)	Selección de la Resolución del sensor 0: resolución QXGA (2048x1536) 1: resolución XGA (1024x768)
14	FSIN	Entrada(0)	Ingreso del marco de sincronización
15	VcCHG	Análogo	Referencia del sensor – derivación a tierra usando un condensador de 1uF.
16	SVDD	Potencia	3.3V de suministro para la matriz del sensor – debe cortar con el PIN 01 en PCB
17	SGND	Potencia	Tierra para la matriz del sensor – debe cortar con el PIN 48 en PCB
18	ASUB	Potencia	Tierra Analógica (Sustrato)
19	VrAD2	Análogo	
20	ADVDD	Potencia	3,3 V para el suministro de un convertidor A / D
21	ADGND	Potencia	Tierra para conversor A/D
22	DVDD	Potencia	1,8 V de alimentación para los circuitos digitales.
23	DGND	Potencia	Tierra digital
24	D0	Salida	Bit de salida de puerto de video [0]
25	D1	Salida	Bit de salida de puerto de video [1]
26	D2	Salida	Bit de salida de puerto de video [2]
27	D3	Salida	Bit de salida de puerto de video [3]
28	D4	Salida	Bit de salida de puerto de video [4]
29	XCLK1	Entrada	Sistema de Entrada de Reloj
30	XCLK2	Salida	Sistema de Salida de Reloj
31	PCLK	Salida	Salida de Reloj del Pixel
32	D5	Salida	Bit de salida de puerto de video [5]
33	D6	Salida	Bit de salida de puerto de video [6]
34	D7	Salida	Bit de salida de puerto de video [7]
35	D8	Salida	Bit de salida de puerto de video [8]
36	D9	Salida	Bit de salida de puerto de video [9]
37	DOVDD	Potencia	3,3 V fuente para el puerto de vídeo digital.
38	DOGND	Potencia	Puerto de Tierra para video digital
39	HREF	Salida	Referencia de salida horizontal
40	HSYNC	Salida	Salida de sincronización horizontal
41	VSYNC	Salida	Salida de sincronización vertical
42	NC	--	Ninguna Conexión
43	SLHS	Entrada(0)	Entrada de Sincronización Horizontal en modo esclavo, de alta actividad
44	SLVS	Entrada(0)	Entrada de Sincronización Vertical en modo esclavo, de alta actividad

45	SIO_D	Ent/Salida	Interface serial de datos Entrada/Salida SCCB
46	SIO_C	Entrada	Interface serial de entrada de Reloj SCCB
47	VcCHG	Análogo	Sensor de referencia. Internas en contacto con el pin 15. Derivación a tierra mediante un condensador de 1 uF
48	SGND	Potencia	Tierra para la matriz del sensor

**ANEXO B**  
**Sensor CCD FTT1010-M en la Cámara Dalsa 1M30**

### Sensor CCD FTT1010-M

El sensor CCD FTT1010-M es usado por la cámara Dalsa 1M30. Este sensor es monocromático y progresivo que ofrece pixeles de 1Kx1K a 30 fotogramas por segundo a través de un búfer de salida único. La combinación de alta velocidad y un alto rango dinámico lineal, hace que este dispositivo sea la solución perfecta para la gama médica en tiempo real en rayos X, aplicaciones científicas e industriales.

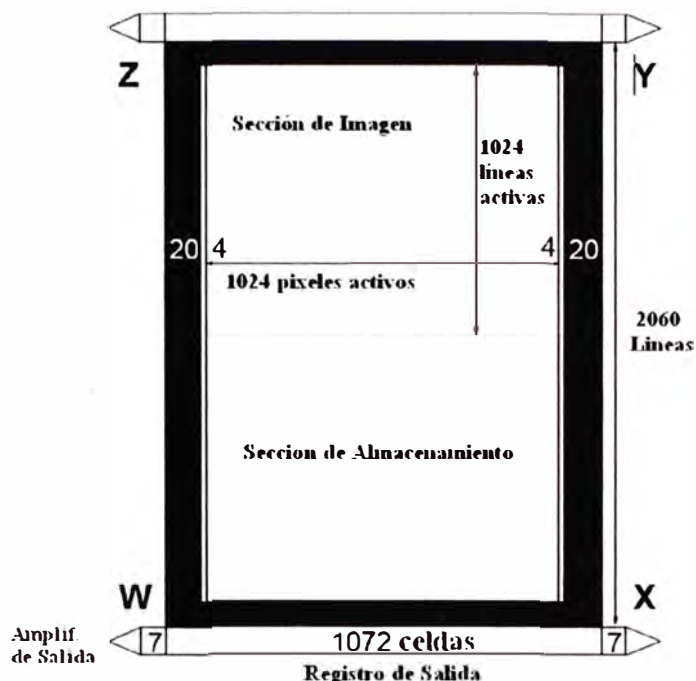
El FTT1010-M consiste en una sección de almacenamiento blindado y una sección de la imagen abierta. Ambas secciones son electrónicamente iguales y tienen la misma estructura de celda con las mismas propiedades. La única diferencia entre las dos partes es el escudo de la luz visible.

<b>SECCIÓN DE IMAGEN</b>	
Imagen Diagonal (solo video activo)	17.38mm
Relación de aspecto (relación de ancho y alto)	1:1
Ancho x Alto de la imagen activa	12.288 x 12.288 mm <sup>2</sup>
Ancho x Alto de pixel	12x12 $\mu$ m <sup>2</sup>
Factor de relleno (% área pixel sensible a la luz)	100%
Pines de Reloj de Imagen	A1, A2, A3, A4
Condensador de cada fase del Reloj	2.5nF por pin
Número de líneas activas	1024
Número de líneas de referencia de negro	2
Número de líneas ficticias de negro	4
Total de número de líneas	1030
Número de pixeles activos por línea	1024
Número de overscan (sincronización) pixeles por línea	8 (2x4)
Número de pixeles negro de referencia por línea	40 (2x20)
Número total de pixeles por línea	1072

<b>SECCIÓN DE ALMACENAMIENTO</b>	
Ancho x Alto de Almacenamiento	12.864 x 12.360 mm <sup>2</sup>
Ancho x Alto de Celda	12x12 $\mu$ m <sup>2</sup>
Las fases de Almacenamiento del Reloj	B1, B2, B3, B4
Condensador de cada fase del Reloj	2.5nF por pin
Número de celdas por línea	1072
Número de Líneas	1030
<b>REGISTROS DE SALIDA</b>	
Buffers de Salida (tres – etapas de seguidores de fuentes)	4 (uno en cada esquina)
Número de Registros	2 (uno arriba, uno abajo)
Número de celdas ficticias por registro	14 (2x7)
Número de registro por las celdas de registro	1072
Registro de salida horizontal de transporte del pin del reloj	C1, C2, C3
Condensador de cada fase C-Reloj	60pF por pin
Superposición entre los condensadores cercanos C-Relojes	20pF
Registro de salida de la puerta resumen	4 pins (SG)
Condensador en cada SG	15pF
Reiniciar las fases de las puerta del Reloj	4 pins (RG)
Condensador en cada RG	15pF

Los centros ópticos de todos los pixeles en la sección de imagen forman una cuadrícula. La carga es generada e integrada en esta sección. Los registros de salida son localizados por debajo de la sección de almacenamiento. Los amplificadores de salida Y y Z no se usan en modo de marco de transferencia y deberán ser conectados como amplificadores no – usados. Después de que el tiempo de integración de la carga recogida en la sección de la imagen se desplaza a la sección de almacenamiento. La carga se lee línea por línea a través del registro de salida más baja.

La izquierda y la mitad derecha de cada registro de salida, puede ser controlado de forma independiente. Esto permite que sea una o varias lecturas.



### Especificaciones Técnicas

Máximos Absolutos	Min	Max	Unidad
<b>General</b>			
Temperatura de Almacenamiento	-55	+80	°C
Temperatura ambiente durante la operación	-40	+60	°C
Voltaje entre 2 puertas	-20	+20	V
Corriente continua a través de cualquier fase del reloj	-0.2	+2.0	μA
Salida de corriente (sin protección contra cortocircuitos)	0	10	mA
<b>Voltajes en Relación a VPS</b>			
VNS, SFD, RD	-0.5	+30	V
VCS, SFS	-8	+5	V
Todos los otros pines	-5	+25	V
<b>Voltajes en Relación a VNS</b>			
SFD, RD	-15	+0.5	V
VCS, SFS, VPS	-30	+0.5	V
Todos los otros pines	-30	+0.5	V

Condiciones de Corriente Continua		Min[V]	Típico[V]	Max[V]	Max[mA]
VNS	Substrato N	18	24	28	15
VPS	Substrato P	1	3	7	15
SFD	Drenaje de fuente seguidor	16	20	24	4.5
SFS	Fuente	-	0	-	1
VCS	Fuente de corriente	-5	0	3	-
OG	Puerta de Salida	4	6	8	-
RD	Restablecer drenaje	13	15.5	18	-

El FTT1010-M está montado en paquete de Matriz de Red de Pines (PGA) con 76 pines en una cuadrícula de 15x13 de 40000x40000mm<sup>2</sup>. La posición del pin A1 está marcado con un punto de oro en la parte superior del paquete.



**ANEXO C**  
**Detalles Técnicos de Cámara MS 4100**



**Especificaciones de Rendimiento.-**

Alta Resolución 3-CCD HDTV Cámara Digital Multiespectral.

Sensor de Imagen	1 pulgada CCD de transferencia interlineal
Elementos de la Imagen	7.4 x 7.4 um
Velocidad de Reloj de Pixeles	25Mhz
Área de detección	14.2 x 8 mm
Velocidad de Cuadro	10 cuadros/seg – 4 cuadros/seg con controlador DGX
Salida de Imagen Digital	8 bits x 4 grifos o 10 bits x 3 grifos, cámara Link, EIA-644 (LVDS) o RS-422
Señal/Ruido	60 dB
Montura de Lente	Nikon, montura de bayoneta de 14mm-85mm Opciones de lentes
Obturador Electrónico	Rango: 1 / 10, 000 - 1 / 10 seg, controlado a través de RS-232 de entrada.
Selección de Ganancia	Rango: 0-36 dB, controlado a través de RS-232 de entrada
Entrada de disparo externo	Borde ó nivel, tres modos
Fuente de disparo externa	BNC ó Grabber marco (aislador óptico en BNC)
Control de la exposición	Manual ó automático
Balance de Blancos	Manual ó semi-automático
Reducción de Ruido	Muestreo doble correlacionado
Funciones de Usabilidad	Punto de mira digital – el color del plano de multiplexación
Temperatura de Operación	0-50°C
Voltaje de Operación	12VDC
Consumo de Energía	15Watts
Vista previa de Video	Escaneo Progresivo RGB (1280 x 1024 max resolución de pantalla), corrección de rayos gamma, Zoom digital de 2x y 4x

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Anne Mims Adrian , “FACTORS INFLUENCING ADOPTION AND USE OF PRECISION AGRICULTURE” Tesis – 2006 (Fecha de Acceso 15/06/2011)  
[http://graduate.auburn.edu/fpdb/AUETD/ADRIAN ANNE 27.pdf&sa=U&ei=2gZ2Ts-DJMKCgAe3qNT DA&ved=0CBAQFjAA&usg=AFQjCNFQwjP5nFqZtvjtt0OehfED-2Q3rA](http://graduate.auburn.edu/fpdb/AUETD/ADRIAN_ANNE_27.pdf&sa=U&ei=2gZ2Ts-DJMKCgAe3qNT_DA&ved=0CBAQFjAA&usg=AFQjCNFQwjP5nFqZtvjtt0OehfED-2Q3rA)
- [2] Sitio Oficial SPOT IMAGE (Fecha de Acceso 20/05/2011)  
<http://www.spotimage.com/>
- [3] Sitio Oficial LandSat (Fecha de Acceso 24/05/2011)  
<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>
- [4] Sitio GeoService Perú (Fecha de Acceso 15/05/2011)  
<http://www.gsp Peru.com/>
- [5] Sitio de Instituto de Geofísica (Fecha de Acceso 20/05/2011)  
[\\_http://www.geofisica.unam.mx/](http://www.geofisica.unam.mx/)
- [6] Sitio de Producción AgroIndustrial de la NDA (Fecha de Acceso 10/07/2011)  
<http://www.produccion.com.ar/>
- [7] Sitio Web de GPS: Web del Gobierno de los Estados Unidos. (Fecha de Acceso 12/07/2011)  
<http://www.gps.gov>
- [8] Sitio OmniSTAR a Division of Trimble (Fecha de Acceso 20/05/2011)  
<http://www.omnistar.com/>
- [9] Sitio ESRI - Environmental Systems Research Institute, (Fecha de Acceso 12/08/2011)  
<http://www.esri.com/>
- [10] Sitio GPS y Agricultura (Fecha de Acceso 15/08/2011)  
[http://gps\\_agricultura.galeon.com/TiposMapas.htm](http://gps_agricultura.galeon.com/TiposMapas.htm)
- [11] Sitio Agricultura de Precisión (Fecha de Acceso 22/09/2011)  
<http://www.agriculturadeprecision.org/>
- [12] Sitio SPOT – VEGETATION (Fecha de Acceso 25/09/2011)  
<http://www.spot-vegetation.com/>

- [13] Sitio The General Horticultures (Fecha de Acceso 30/09/2011)  
<http://generalhorticulture.tamu.edu/>
- [14] Sitio ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) (Fecha de Acceso 05/10/2011)  
<http://www.isprs.org/>
- [15] Sitio USDA FSA United State Department of Agriculture – Farm Service Agency (Fecha de Acceso 10/10/2011)  
<http://www.fsa.usda.gov/>
- [16] M.J.A. Butler/M.-C Mouchot/V. Barale/C. Leblanc, “The Application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual” Fisheries and Aquaculture Department, USA – 1988.
- [17] Sitio de la Universidad de Colorado (Fecha de Acceso 20/10/2011)  
[http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/remote/remote\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/remote/remote_f.html)
- [18] Sitio Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. (Fecha de Acceso 25/10/2011)  
<http://www.agro.uba.ar/users/paruelo/evrecfor/claseSRa.pdf&sa=U&ei=rSN2TsiCHZTUgQeb6sX8Dw&ved=0CBEQFjAC&usg=AFQjCNFrM4GS3vDd8UaVGi64i8bzaAXF4w>
- [19] Sitio Remote Sensing Tutorial (Fecha de Acceso 30/10/2011)  
<http://rst.gsfc.nasa.gov/>
- [20] Luis Fernando Segura, “Ejercicio EAD – Agricultura de Precisión” Universidad del Valle –Santiago de Cali – 2010 (Fecha de Acceso 02/11/2011)  
[http://sigp.sena.edu.co/soporte/Plan/03\\_Agricultura%20de%20Presicion](http://sigp.sena.edu.co/soporte/Plan/03_Agricultura%20de%20Presicion)
- [21] Sitio Planeta de Soja (Fecha de Acceso 05/11/2011)  
<http://www.planetasoja.com/trabajos/trabajos800.php?id1=13026&publi=&idSec=28&id2=13028>
- [22] Kishore C. Swain, H. P.W. Jayasuriya\* and V. M. Salokhe “Low-Altitude Remote Sensing with Unmanned Radio-Controlled Helicopter Platforms: A Potential Substitution to Satellite-based Systems for Precision Agriculture Adoption under Farming Conditions in Developing Countries” Agricultural Systems Engineering, Asian Institute of Technology, Thailand -2007 (Fecha de Acceso 01/09/2011)  
<http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/967/961>
- [23] Andres Flores , Gonzalo Cucho , Ernesto Gordillo , Marlon Aucallanchi a, Renán Rojas a, Jorge Barba a, Aurelio Rodríguez , Roberto Quiroz , Adolfo Posadas , Carolina Barreda , and Hildo Loayza, “Low-Cost Airborne Platforms and Remote Sensors for Precision Farming” Sección de Electricidad y Electrónica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Peru, Production Systems and the Environment, International Potato Center, Lima, Peru – 2010 (Fecha de Acceso 10/10/2011)

[http%3A%2F%2Fwww.applied-geoinformatics.org%2Findex.php%2Fagse%2Fagse2010%2Fpaper%2Fview%2F164%2F97&rct=j&q=Low-Cost%20Airborne%20Platforms%20and%20Remote%20Sensors%20for%20Precision%20Farming%20&ei=eF10TujVJM\\_dgQeO0dWODw&usg=AFQjCNHs1swvQWvhYqfkqBUviHpgwwt\\_nQ&cad=rja](http://www.applied-geoinformatics.org/index.php?agse2010%2Fpaper%2Fview%2F164%2F97&rct=j&q=Low-Cost%20Airborne%20Platforms%20and%20Remote%20Sensors%20for%20Precision%20Farming%20&ei=eF10TujVJM_dgQeO0dWODw&usg=AFQjCNHs1swvQWvhYqfkqBUviHpgwwt_nQ&cad=rja)

[24] Fernando Pujada Gamarra, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES PARA APLICACIONES EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN” Tesis – 2009 (Fecha de Acceso 10/10/2011)  
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/253>

[25] Sitio Web de Tetracam (Fecha de Acceso 15/11/2011)  
<http://www.tetracam.com>

[26] Sitio de la Pagina de Futaba (Fecha de acceso 15/10/2011)  
<http://www.futaba-rc.com/systems/futk9255.html>

[27] Sitio de Omnivision (Fecha de Acceso 11/11/2011)  
<http://www.ovt.com/>

[28] Sitio de la Pagina El Peruano (Fecha de acceso 21/11/2011)  
<http://www.elperuano.pe/Edicion/>

[29] Sitio de Hoja de Datos Técnicos para sensor FTT1010-M (Fecha de acceso 01/06/2011)  
[http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/FTT1010-M\\_IG.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/FTT1010-M_IG.pdf)

[30] Sitio de Hoja de Datos Técnicos de Cámara MS-4100 (Fecha de Acceso 25/05/2011)  
<http://www.geospatialsystems.com/wp-content/uploads/MS-Data-Sheet.pdf>