

EVALUACION DE SENSORES AEROTRANSPORTADOS EN LA IDENTIFICACION DE CULTIVOS

Autores:

Roberto Castro Ríos

**Programa de Percepción remota y SIG
facultad de Agronomía**

Viviana Solivelles Ulloa

Departamento de Información Agraria, ODEPA



CIREN
CORFO

MANUEL MONTT 1184
56-2-2236641 - 2749669
FAX : 56-2-2098407
CASILLAS 14995

reuna.cl
NCIA
CHILE

Documento de Trabajo N° 4

Santiago de Chile, Agosto de 1996

Patrocinador: Ciren-Corfo

**C355e
7630
C-4**

EVALUACION DE SENSORES AEROTRANSPORTADOS EN LA IDENTIFICACION DE CULTIVOS

Autores:

Roberto Castro Ríos

**Programa de Percepción remota y SIG
facultad de Agronomía**

Viviana Solivelles Ulloa

Departamento de Información Agraria, ODEPA

Documento de Trabajo N° 4

Santiago de Chile, Agosto de 1996

Patrocinador: Ciren-Corfo

Documento de Trabajo N° 4

Evaluación de Sensores Aerotransportados en la Identificación de Cultivos

Documento Preparado por ODEPA y la P. Univ. Católica de Chile

Colaboraron en este trabajo:

Raúl Parada Ahumada, ODEPA
Guillermo Pino Gónzales, ODEPA
Jorge klischies, PROFOSUR LTDA
Juan Pablo Ramírez, INIA, Quilamapu.

Pontificia Universidad Católica de Chile
Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
Agosto de 1996

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SENSORES Y CONDICIONES DE TOMA DE INFORMACIÓN	4
2.1	Cámara Aérea de Fotografía de Gran Escala	4
2.2	Cámara de Video	5
2.3	Cámara Fotográfica Digital	7
2.4	Sensor CASI	8
3.	APLICACIONES DE LOS SENSORES AL AREA DE ESTUDIO, PROVINCIA DE TALCA	12
3.1	Area de Estudio y Diseño del Plan de Vuelo	12
3.1.1	Area de Estudio	12
3.1.2	Determinación de Areas de Control	13
3.1.3	Plan de Vuelo, Aspectos Generales	13
3.1.4	Captura de Información	14
3.1.5	Altitud de Vuelo	14
3.2	Resultados Obtenidos en el Proyecto Piloto Talca	15
3.2.1	Resultados Obtenidos con la Cámara de Fotografía de Gran Escala	15
3.2.2	Resultados Obtenidos con la Cámara de Video	18
3.2.3	Resultados Obtenidos con la Cámara Fotográfica Digital	21
3.2.4	Resultados Obtenidos con el Sensor CASI	23
3.3	Evaluación Técnica de los Sensores	30
4.	ANÁLISIS DE COSTOS	32
4.1	Consideraciones de Costos de Fotografías de Gran Escala ...	32
4.2	Consideraciones de Costos de Imágenes Obtenidas con Video	33
4.3	Consideraciones de Costos de Imágenes Obtenidas con Cámara Digital	33
4.4	Consideraciones de Costos de Imágenes CASI	34
4.5	Resumen de Costos por Superficie para los Cuatro Sensores ..	34
5.	CONSTRUCCIÓN DE MOSAICOS CON IMÁGENES DE SENSORES	35
5.1	Antecedentes	35
5.2	Corrección Geométrica y Radiométrica	36
6.	ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES	38
7.	REFERENCIAS	41
8.	GLOSARIO DE TÉRMINOS	42

1. INTRODUCCIÓN

En el transcurso del año 1995, la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ODEPA, desarrolló un proyecto piloto orientado a probar la eficacia y utilidad de diferentes sensores aerotransportados, como herramienta para el apoyo del procesamiento multinivel realizado con imágenes satelitales. A través de estos estudios, se buscaba investigar alternativas para el levantamiento general de información sobre las zonas agrícolas, con el objetivo de identificar y determinar superficie de cultivos.

Este estudio piloto se enmarca en el proyecto SIGMA¹ y se realizó sobre el área del estrato agrícola de la provincia de Talca de la VII Región, con la asesoría del Programa de Percepción Remota y SIG de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

El objetivo principal de este estudio fué evaluar las posibilidades que ofrecen algunos sensores aéreos disponibles para la obtención de antecedentes de uso del suelo, evaluando la calidad de la información, la oportunidad y las ventajas y desventajas económicas de la utilización de cada uno de ellos.

Los estudios vegetacionales en general y el desarrollado por el proyecto en particular, tienen como objetivo la identificación de las coberturas vegetales ya sean tipos de cultivos, frutales o formaciones forestales. Con este objetivo, se utilizan normalmente datos multiespectrales provenientes de sensores espaciales. Sin embargo existen variados estudios en países como España, Canadá y Estados Unidos que dan cuenta de la utilización de datos multiespectrales obtenidos de sensores aerotransportados.

En general estos sensores se encuentran diseñados para operar en plataformas móviles de bajo techo, como son los aviones que normalmente se ocupan en trabajos de levantamientos aéreos con fines de actualización y creación de cartografía temática para áreas locales.

Existen en el mercado una lista de estos sensores, muchos de los cuales tienen costos de operación no alcanzables en términos operativos, lo que se suma a la escasa experiencia que existe en nuestro país en la obtención, proceso, análisis y producción de este tipo de información. Este hecho a llevado a la búsqueda de

¹ El Proyecto SIGMA, Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura, coordinado por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ODEPA.

sensores de bajo costo y de fácil de operación, de tal forma que puedan ser una alternativa a la fotografía aérea tradicional.

El presente informe es un resumen técnico, que expone la experiencia adquirida por ODEPA durante este estudio donde se utilizaron con los fines mencionados, cuatro sensores aerotransportados.

Los sensores probados corresponden a los siguientes:

- a) Cámara Aérea de Fotografía de Gran Escala
- b) Cámara de Video JVC 3Y X2
- c) Cámara Digital NIKON-KODAK, DCS-200
- d) Sensor Multiespectral CASI.

A continuación se especifica para cada uno de ellos las principales características técnicas, los resultados obtenidos y un análisis general de sus costos, así como sus ventajas y desventajas en relación a los objetivos del estudio: el levantamiento de uso del suelo y la identificación de cultivos.

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SENSORES Y CONDICIONES DE TOMA DE INFORMACIÓN

2.1 Cámara Aérea de Fotografía de Gran Escala

a) Antecedentes generales

Las fotografías aéreas de gran escala son profusamente utilizadas en levantamientos forestales y agrícolas (Hamilton, 1981; Heller, 1964; Sayn, 1978) y normalmente son a color. Numerosos estudios se han realizado con este tipo de fotografías, las cuales son el complemento ideal a la fotografía aérea métrica². La utilización principal es la interpretación y actualización de cartografía temática.

Las características principales son la facilidad de obtención, la gran escala que las caracteriza (1: 5.000 y mayores), que permite una mejor interpretación de datos y del análisis de detalles del terreno bajo estudio.

² *Fotografía aérea métrica corresponde a una foto tomada con una cámara métrica, es decir, con una cámara especialmente diseñada para obtener fotografías a ser usadas en la confección de mapas. La ventaja de la fotografía métrica es que se conocen los elementos internos (punto principal, formato y distancia principal).*

b) Características de la cámara y método de adquisición de fotografías

Las fotografías aéreas de gran escala fueron obtenidas con una cámara profesional Hasseblad modelo 500 E1/M, con lente Carl Zeiss modelo planar 2.8/80 mm y chasis de 12 cuadros. El formato de captura de la cámara es de 6 x 6 cm, con un tamaño de negativo de 55 x 55 mm. La película utilizada fue Fujicolor Super HGII Daylight ISO, 100/21 de formato 120 mm.

La altitud de vuelo para la toma de fotografías aéreas fue de 6.000 pies (sobre nivel del mar). El recubrimiento longitudinal de las tomas (negativos) fue de 70 a 75%, con excepción en los eventos del cambio del chasis, donde debido a la velocidad del avión, la superposición bajó aproximadamente a un 20 o 25%. Recubrimiento lateral no existe por no haber líneas paralelas de vuelo. El total de tomas captadas fue de 138.

2.2 Cámara de Video

a) Antecedentes generales

Las cámaras de video no han sido instrumentos de común utilización en los estudios de levantamientos de recursos naturales. La mayor aplicación ha correspondido a registros de escenas continuas con el fin de obtener información complementaria a las fotografías aéreas, permitiendo una rápida actualización de los cambios. De esta manera, permiten al intérprete precisar las zonas de cambios y formarse una idea global del fenómeno bajo estudio.

Uno de los factores que ha restringido su utilización, es el poco desarrollo tecnológico de las interfases para fijar escenas nítidas y con buena resolución, aspecto necesario para ser analizadas mediante los sistemas de procesamiento digital de imágenes. Por otra parte, la obtención de productos finales semejantes a las fotografías aéreas tienen un alto costo. Sin embargo en los últimos años esta situación ha venido cambiando, lo cual se debe en alguna medida, al advenimiento rápido que ha experimentado el desarrollo electrónico.

En el país, si bien es cierto que la utilización no ha sido frecuente, últimamente las imágenes de video han constituido un elemento de apoyo a trabajos de levantamiento forestal y agrícola, permitiendo una actualización rápida y a bajo costo de la información cartográfica existente.

Sin embargo, es de conocimiento por parte de los especialistas que la disponibilidad de equipos para obtener captura de escenas y un procesamiento digital adecuado, siguen siendo en gran medida la limitante para hacer más operativo estos sistemas.

b) Características de la cámara y método de adquisición de imágenes

Las imágenes de video fueron obtenidas con una cámara JVC profesional modelo GY-X2, con un lente Canon modelo YH13X7.5K12. El formato de captura de las imágenes fue de SVHS y se utilizó una cinta Fuji SVHS.

La altura media del vuelo para la toma de las imágenes de video fue de 6.000 pies (sobre el nivel del mar). El tiempo de grabación fue de 20 minutos. Tanto las imágenes como el sonido resultantes son almacenadas en cinta, disco u otro medio de almacenamiento. Las imágenes fueron captadas con una distancia focal de 75 mm.

c) Funcionamiento de la cámara

La cámara de video opera con un sistema de CCD (Detector por Acoplamiento de Carga), que responden a estímulos lumínicos, de tal forma que es capaz de convertir la energía electromagnética proveniente de una escena del terreno en señales eléctricas.

La energía electromagnética reflejada por los objetos pasa a través de un lente y converge en un plano focal, donde se encuentra la superficie sensible que recibe la señal y forma la imagen del objeto. Las longitudes de onda seleccionadas son descompuestas, mediante un sistema de prismas, en tres haces de color: Rojo, Verde y Azul (RGB), cuya combinación forma la totalidad de los colores, incluyendo la creación del color blanco. Para estos efectos la cámara de video realiza las siguientes operaciones:

- i) Para obtener colores naturales, la cámara debe filtrar la luz según la temperatura, ya que dependiendo de la fuente de luz, la temperatura y por ende la calidad de los colores es distinta. La cámara ajusta a través de un filtro esta variable.
- ii) Balance de Blanco: en las cámaras de video el color blanco se obtiene cuando las tres señales de color son mezcladas en términos proporcionales de acuerdo a la luz existente. Dependiendo del tipo de longitudes de onda, que constituye el conjunto lumínico que registre la cámara la proporción variará. Las cámaras con 3 CCD, es decir un CCD para cada color, tienen posibilidad de hacer balance de blanco para cada situación en particular en forma exacta.

A diferencia de las cámaras utilizadas para las tomas de fotografías aéreas convencionales, las cámaras de video tienen lentes varifocales, es decir, incorporan

a un lente normal un zoom, teniendo de esta manera en un sólo lente tres posibilidades: lente normal, gran angular y teleobjetivo.

2.3 Cámara Fotográfica Digital

a) Antecedentes Generales

Las cámaras fotográficas digitales son sensores que almacenan información en formato digital, normalmente en un disco duro incorporado a los instrumentos. Por lo general estas cámaras son de alta resolución espacial y cuentan con filtros capaces de separar las diferentes longitudes de onda que se reciben de los vegetales, de manera de poder identificarlos según la firma espectral característica de cada cultivo en el rango espectral del visible e infrarrojo próximo.

Para lograr lo anterior se dispone de una gama de filtros que abarcan todo el espectro "óptico". Ello permite trabajar especialmente en el infrarrojo próximo, en donde se presentan diferencias importantes en la reflectividad de las distintas especies vegetales. Dependiendo del estudio a realizar, se deberían escoger los filtros más apropiados para lograr eficazmente la discriminación entre los vegetales. Los sistemas de esta cámara permiten un máximo de cuatro filtros o bandas, las cuales normalmente son el rojo, verde, y azul del visible más el infrarrojo próximo, pero pueden configurarse como sea conveniente. En el caso de la cámara usada en este estudio, el sistema permite solamente la combinación de la banda del visible.

Para escoger los filtros apropiados se pueden hacer pruebas especiales de calibración, tomando sobre una misma zona piloto imágenes con una amplia gama de filtros, escogiendo posteriormente los más indicados para la discriminación deseada. Estos estudios sirven como base para muchos trabajos que requieren el mismo tipo de identificación y bajo condiciones similares.

Las imágenes multiespectrales presentan la desventaja del poco cubrimiento por foto, lo que puede ser contrarrestado, ensamblándolas en un mosaico. Para ello se cuenta con programas computacionales que permiten crearlos en forma expedita, permitiendo obtener visiones de conjunto.

La resolución espacial de las imágenes dependerá de los requerimientos del estudio, pudiendo ser desde 10 cm a 10 metros por pixel, siendo el standard de 1 metro para las aplicaciones agrícolas y forestales.

La precisión geodésica, al igual que la resolución espacial depende de los requerimientos del estudio, para lo que se debe disponer de un GPS en el avión.

Con estos datos, más los puntos de control en tierra, cartas geográficas sobre las cuales montar las imágenes etc., se puede llegar a obtener precisiones adecuadas.

b) Características de la cámara y método de adquisición de imágenes

Las imágenes digitales para el proyecto fueron obtenidas por una cámara digital NIKON - KODAK modelo DCS-200. Consta de un disco duro (KODAK) que está anexo al cuerpo de la cámara fotográfica (NIKON) y es el encargado de almacenar los datos en formato digital.

Los datos obtenidos con esta cámara se adquirieron a 6.000 pies y 3.000 pies (sobre nivel del mar). El recubrimiento longitudinal de las tomas (negativos) fue de 10 a 30% para los 3.000 pies, y de 20 a 30% para los 6.000 pies. Desde la imagen 1 a la 30, las tomas de las escenas se realizaron en forma automática y desde la 31 a la 50 en forma manual, con el fin de probar qué método resultaba más eficiente.

c) Funcionamiento de la cámara

El disco duro es capaz de almacenar 80 Mb de información, lo que equivale aproximadamente a 50 imágenes color. El formato de almacenamiento es raster, de 1.542.288 píxeles de 8 byte por banda, más 8.336 bytes correspondientes a la información de cabecera de cada imagen.

La cantidad de columnas y líneas corresponden a 1.524 por 1.012 respectivamente. En este caso la información fue captada en 3 bandas del espectro visible (azul, verde y rojo), equivalente a un archivo de 4.6 Mb. Para poder almacenar eficientemente esta gran cantidad de información, el disco duro de la cámara comprime los datos en 66 % aproximadamente.

2.4 Sensor CASI

a) Antecedentes generales

Existen estudios que han validado la utilización de este sensor, especialmente en la obtención de relaciones entre la edad de coberturas forestales y el porcentaje de cubrimiento, así como en la aplicación al campo de cuantificación de superficies forestales (Arbiol, 1987).

En estudios de inventarios agrícolas la experiencia pareciera ser menos frecuente, y son escasas las citas bibliográficas que se encuentran sobre la materia en las revistas especializadas.

Como veremos a continuación este sensor ofrece la posibilidad de programar un número de bandas determinado (máximo de 15) entre los límites espectrales del azul e infrarrojo próximo. Esto permite obtener firmas espectrales más completas de las muestras de campo, que sirven como entrenamiento en las clasificaciones digitales. La ventaja de contar con rangos espectrales con menor amplitud, es determinante en el registro e identificación de los diferentes cultivos, así como en la separación de anomalías o diferencias al interior de los propios cultivos.

b) Características del sensor y método de adquisición de imágenes

El sensor Compact Airbone Spectrographic Imager (CASI) es un sensor aerotransportado de tecnología canadiense, cuyas capacidades se ajustan a los requerimientos de inventarios de cultivos y estudios de vegetación en general, como son la estimación de biomasa, índices de vegetación, índices de área foliar y coberturas de copa.

La resolución espacial se sitúa entre 2 a 10 m, dependiendo de la escala de vuelo. La relación entre la altitud de vuelo y la resolución espacial es condicionada por la óptica del sensor. El sistema óptico es un lente de 12.5 mm con un IFOV (campo de visión instantáneo) de 38,9 grados, lo que determina un campo de visión de 0,7069 x altitud de vuelo (metros) y un pixel de 0.00122 x altitud de vuelo (metros).

Toda la información se registra en exabyte en cintas de 8 mm, correspondiendo una hora de grabación un total de 2,3 Gb. El nivel digital (ND)³ de cada banda se obtiene a partir de la suma de las señales de las diferentes filas que forman la banda.

La máxima velocidad de grabación es de 245 sectores por segundo, siendo un sector igual a 1.024 bytes. Cada pixel corresponde a 2 bytes. Por cada línea de la imagen se registran 64 bytes y por cada banda 612 pixeles.

c) Funcionamiento del sensor

El CASI es un sensor óptico multiespectral basado en una barra de CCD (dispositivo por acoplamiento de carga) que le permite registrar diferentes longitudes de onda que van desde 430 nm a 950 nm (nanómetros) y programar la configuración de las regiones espectrales de acuerdo a los requerimientos del usuario.

³ ND (nivel digital) o número digital DN. Corresponde al valor asignado a cada pixel en una imagen digital.

El dispositivo de acoplamiento por carga (CCD) esta constituido por 288 filas y 612 columnas, de estas últimas 512 son utilizables. Las restantes obtienen los valores de contraste y calibración radiométricas.

La sensibilidad del sensor expresa la capacidad de respuesta, por cada longitud de onda, que los instrumentos registran en forma de "radiancia"⁴ equivalente para la totalidad del rango espectral. La "curva de sensibilidad"⁵ indica que existe una mayor respuesta a las longitudes de onda de la región central del espectro electromagnético (500 a 850 nm).

d) Datos espectrales

El CASI puede ser utilizado en dos modalidades, en modo espectral y en modo espacial. En el primer caso el sensor registra 40 pixeles por líneas, con una posibilidad de originar 288 bandas para cada una de ellas, siendo posible establecer intervalos y ajustar la longitud de las líneas.

En el modo espacial, el usuario puede seleccionar hasta 19 bandas dentro del rango espectral sin traslapo, con un ancho mínimo de 1,8 nanómetros, con 512 pixeles por línea de barrido y con un tamaño por pixel de un metro cuadrado. El máximo número de bandas posibles de registrar es una función del tiempo de integración que corresponde a 200 milisegundos.

Un ejemplo de bandas son las que se muestran en el cuadro N° 2, donde se expone comparativamente un total de 8 bandas del CASI con las bandas espectrales del sensor TM (Landsat) y HRV (Spot).

En este cuadro, la comparación nos indica claramente la reducción de la amplitud espectral de las bandas del CASI en relación a las del TM y HRV, así como el mayor número de bandas que es posible definir. Esto sin lugar a dudas es una ventaja, por cuanto se puede seleccionar con mayor precisión las respuestas espectrales de los objetos de interés, con los consiguientes aumentos de fiabilidad en los procesos de clasificación. No obstante, tal aumento de bandas conlleva un número mayor de datos a analizar, lo que a su vez aumenta los tiempos de procesamiento y los requerimientos de equipo y capacidad de los programas de procesamiento digital.

⁴ *RADIANCIA: Es la intensidad del flujo de radiación (energía emitida y propagada en forma de ondas a través de un medio) en una dirección particular.*

⁵ *CURVA DE SENSIBILIDAD: Capacidad de cada sensor de registrar las diferentes longitudes de onda y transformarlas en radiancia.*

Es por lo tanto conveniente definir previamente y con rigurosidad, las bandas más relevantes para el estudio que se desea realizar, con el fin de compatibilizar los aspectos señalados.

Cuadro N° 2
Resolución Espectral y Amplitud del CASI, TM Y HRV

	CASI		LANDSAT (T.M.)		SPOT (HRV)	
Bandas	Región espectral	Amplitud	Región espectral	Amplitud	Región espectral	Amplitud
1	460,2 - 488,2	28,0	450 - 520	70	500 - 590	90
2	542,8 - 555,2	12,4	520 - 600	80	610 - 680	70
3	592,4 - 604,9	12,5	630 - 690	60	790 - 880	100
4	674,4 - 681,6	7,2	760 - 900	140	---	--
5	704,9 - 713,8	8,9	1550 - 1750	200	---	--
6	730,0 - 738,9	8,9	2080 - 2350	270	---	--
7	742,5 - 751,5	9,0	---	---	---	--
8	791,1 - 809,1	18,0	---	---	---	--

Nota: Todos los valores se expresan en nanómetros (nm)

e) Geometría de los datos

Las escenas registradas por el sensor están afectadas por el movimiento del avión durante el vuelo, la altitud del sensor en relación al terreno y la dirección de vuelo. Esta última se ve alterada por tres movimientos que son el aladeo, cabeceo y por el giro sobre el propio eje de la cámara, así como por el efecto de la deriva.

Para realizar la corrección geométrica de los datos, se cuenta con paquetes de software como el ITRES⁶ que permite establecer la corrección de los datos, mediante la obtención de puntos de control en el propio vuelo por medio de un GPS, más los datos que entrega un giroscopio sobre los movimientos que efectúa el avión.

La corrección geométrica final se realiza línea a línea mediante el método de triangulación de Delaunay, que consiste en establecer, a partir de puntos de control,

⁶ ITRES: Software canadiense específicamente diseñado para el tratamiento de los datos CASI

triángulos equiláteros entre ellos, de tal forma que cada triángulo es independiente respecto de la posición UTM de los vértices (Devereux et al, 1990).

En el proyecto "CASI para la Agricultura" realizado en España (Baulies y Viñas, 1992) se determinó la precisión geométrica a partir de puntos de control tomados de ortofotos 1: 5.000, obteniéndose como resultado, para una resolución de 2 m de la imagen con 98 puntos de control, un error cuadrático⁷ total de 5.96 m (2.98 pixeles), lo que se puede considerar adecuado para este nivel de resolución.

3. APLICACIONES DE LOS SENSORES AL AREA DE ESTUDIO, PROVINCIA DE TALCA

3.1 Area de Estudio y Diseño del Plan de Vuelo

3.1.1 Area de Estudio

El área de estudio para la obtención de datos con los sensores aéreos correspondió a una franja dentro del estrato de riego de la provincia de Talca. Las consideraciones para la elección de la zona a ser sobrevolada fueron las siguientes:

- i) Topográficamente el terreno debía ser lo menos accidentado posible, de manera de evitar elevaciones del avión que produjeran cambios de escala, así como corrientes ascendentes generadas por los accidentes topográficos pronunciados. Esto debía ser considerado, ya que ambos fenómenos pueden implicar una inclinación del avión y por consiguiente de los sensores, con la correspondiente distorsión de la posición relativa de los elementos del paisaje en el registro.
- ii) La franja a sobrevolar debía contener la mayor cantidad de segmentos de muestreos, definidos por el INE para la encuesta anual (Programa de Encuesta Agrícola Anual, PMEA), con el fin de tener información de terreno confiable que apoyara la identificación y análisis de los datos capturados por los sensores.
- iii) Para facilitar la ubicación geográfica y los posteriores muestreos de terreno, se requería determinar elementos físicos que ayudaran a tal propósito.

⁷ Error Cuadrático (RMS error): Es la diferencia entre la localización de origen de los Puntos de Control Geográficos de la imagen y la localización transformada de estos mismos puntos. En otras palabras es la diferencia entre las coordenadas de origen y las coordenadas de salida de los mismos puntos después de ser transformados con una matriz de transformación.

Consecuentemente, se determinó delimitar la siguiente franja de vuelo: a partir del río Maule por el Sur hasta el río Claro por el norte, tangente al pueblo de San Clemente. Esto determinó un total de una franja de aproximadamente 50 Km. de largo, cubriendo 12 segmentos del INE.

3.1.2 Determinación de Areas de Control

Con el fin de asegurar que la identificación de los cultivos fuera la correcta y de esta manera analizar comparativamente la información entregada por cada uno de los sensores, se diseñó un sistema de "áreas de control".

Para este fin, se tomaron algunos segmentos de muestreo INE, con el objeto de contar con la información contenida en la encuesta maestra INE que realiza esta institución anualmente, y de esta manera, poder compararla con la información captada por cada uno de los sensores.

Además de lo anterior, se realizaron levantamientos en terreno en puntos escogidos al interior de la franja de vuelo, correspondiente a distintos tipos de cultivos. Estos datos fueron debidamente registrados en formularios de terreno.

3.1.3 Plan de Vuelo, Aspectos Generales

Los sensores aerotransportados son dependientes en parte de las características de los aviones en los cuales van montados. En general se debe considerar que se trata de una plataforma móvil, con peso, velocidad y estabilidad limitadas, así como el propio techo de vuelo. Las condiciones atmosféricas de vuelo, sean estas vientos, nubosidad, intensidad solar u otra, son determinantes en los resultados finales.

En lo que respecta a la geometría de vuelo, el seguimiento exacto de una dirección de vuelo a una altitud y velocidad constante es siempre difícil de alcanzar, siendo estas constantes por lo general teóricas. Es por ello que se deben determinar rangos de tolerancia para considerar un vuelo como aceptable.

Para ello, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- i) El recubrimiento lateral y longitudinal (en el caso de las fotografías y cámara digital) y la continuidad de las escenas en el caso de las imágenes (cámara de video y sensor CASI). Lo importante en ambos casos es asegurarse que no se produzcan "claros" o zonas sin información, evitándose así vuelos suplementarios que encarecen los levantamientos.

- ii) Las desviaciones del avión, más allá de los rangos posibles de corregir por los giros del propio sensor, produciéndose deriva, cuyo resultado son áreas sin cubrimiento.
- iii) Cambios de altitud del vuelo más allá de los límites aceptables, de tal forma que no se produzcan cambios significativos de escala entre tomas consecutivas, provocando distorsión y errores de interpretación.
- iv) Inclinación relativa y absoluta, tratando de evitar los aleteos o caídas de ala del avión, así como los cabeceos. Todo ello trae consigo errores en la ubicación relativa de los elementos.

Lo anteriormente dicho es válido para todos los sensores, dado que el efecto es en todos los instrumentos por igual. Lo que cambia es el efecto geométrico en el producto final y las posibilidades que cada sensor tiene para, a través de instrumentos auxiliares, corregir los errores producidos por los movimientos de la plataforma.

3.1.4 Captura de Información

Para efectos de este estudio, las tomas de cada sensor sobre la franja definida se realizaron con un avión CESSNA monomotor, acondicionado con una "trampa en el piso" a la cual se adaptaron los instrumentos, siendo necesario realizar los ajustes técnicos y mecánicos para fijar los sensores en el piso del avión y dar la seguridad de la verticalidad de los centros de proyección respecto del plano de referencia constituido por el terreno.

De igual forma, el avión contó con instrumentos auxiliares que permitieron controlar la altitud de vuelo, la dirección de vuelo y fijar puntos de control, mediante GPS. En términos generales se puede afirmar, que los errores debido a la plataforma se mantuvieron dentro de rangos aceptables para todos los vuelos realizados.

Las tomas efectuadas con cada uno de ellos, fueron realizadas en días similares, tanto en horario como en condiciones de luminosidad atmosférica, con excepción de las realizadas con la cámara de video, en cuyo caso las condiciones de nubosidad fueron levemente mayores.

3.1.5 Altitud de Vuelo

Dado que se sobrevolaría el trazo acordado con cuatro equipos diferentes, y considerando las características de cada uno de los instrumentos, en cuanto a lentes, ángulo de visualización y resolución espacial de cada uno de ellos, se

calculó la altitud de vuelo óptima para todos los sensores, la cual fue de 6.000 pies. Sin embargo, se hicieron pruebas a 3.000 pies con la cámara digital y con el video por considerarse adecuado contar con la información a otra escala con fines comparativos.

En cuanto a las horas de vuelo, el consumo fue de aproximadamente dos horas de vuelo por instrumento. Por lo tanto para cubrir el tramo acordado (50 Km), sumando el ascenso a nivel escala y la hora ferry (traslado de Concepción-Talca), el total de horas para los cuatro equipos fue de 12 horas. Para los efectos de la toma de los datos se fijó como centro de operación la ciudad de Talca, en el aeródromo Panguilemo.

Un resumen de las características del vuelo por instrumento se presenta en el cuadro N° 3.

3.2 Resultados Obtenidos en el Proyecto Piloto Talca

3.2.1 Resultados Obtenidos con la Cámara de Fotografía de Gran Escala

a) Productos y resultados obtenidos

El formato final de las ampliaciones fue de 18,7 x 18,7 cm. con un traslape longitudinal de 40%. Un resumen de las características de los productos obtenidos se entrega a continuación:

Negativos:

Avance lineal por toma (km)	= 1,122
Traslape longitudinal	= 70 %
Traslape lateral	= No hay
Total de negativos	= 138

Ampliaciones:

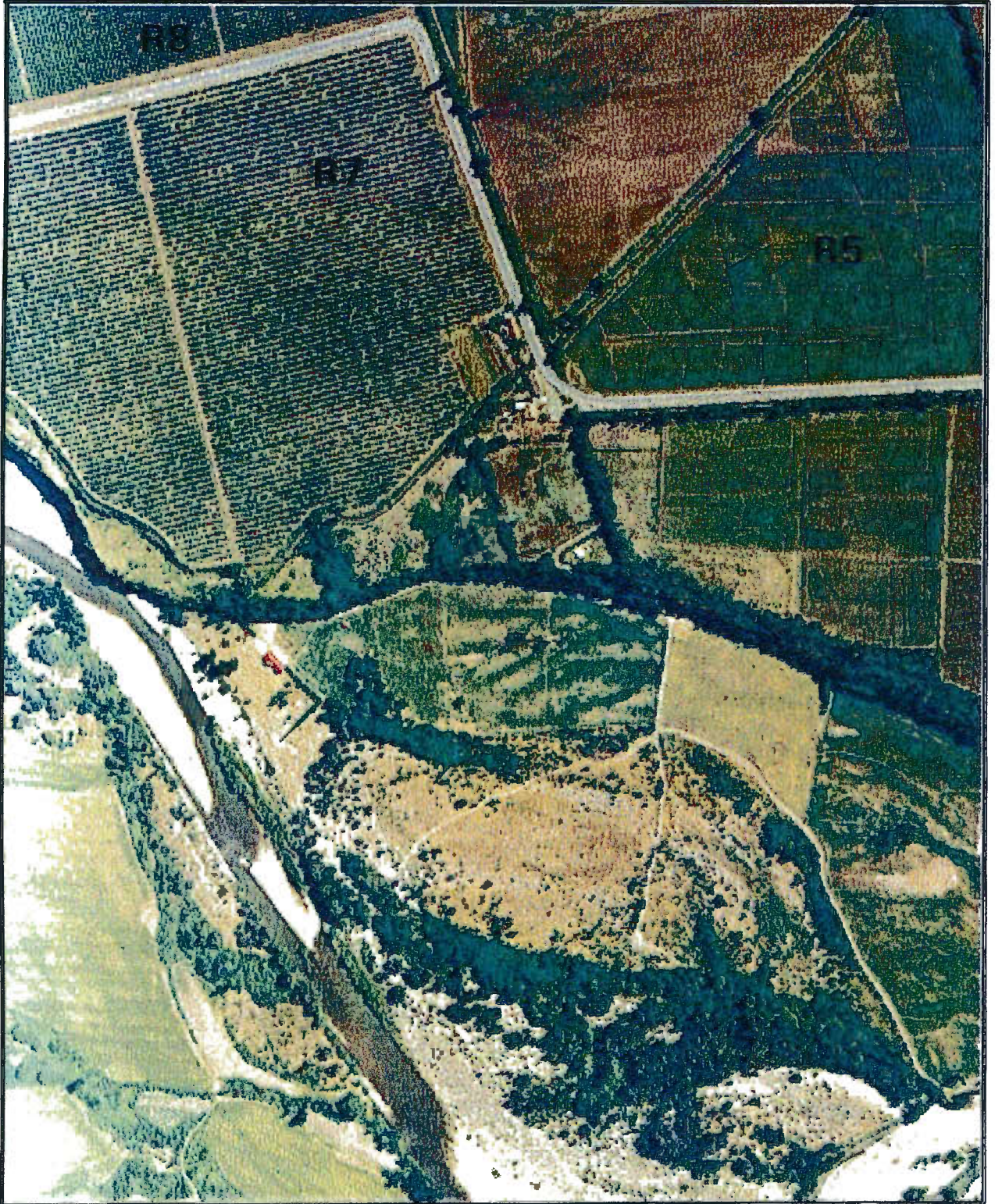
Traslape longitudinal	= 40 %
Total de ampliaciones	= 70
Escala de ampliación	= 1: 6.500
Tamaño de ampliación	= 18,7 x 18,7 cm

Producto obtenido (Figura 1).

Cuadro N° 3
Resumen Vuelos de Prueba
sensores aeroportados

CONDICIONES DEL VUELO	CÁMARA DE VIDEO VHS		CÁMARA FOTOGRÁFICA DIGITAL		CÁMARA FOTOGRÁFICA HASSEMBLAD
FECHA	07.12.94	07.12.94	07.12.94	07.12.94	07.12.94
ALTURA MEDIA	3.000 pies	6.000 pies.	3.000 pies	6.000 pies.	6.000 pies
HORA CAPTURA INFORMACIÓN	Hora Inicio: 14:09 Hora Térm: 14:36 Duración: 00:27	Hora Inicio: 15:05 Hora Térm: 15:21 Duración: 00:16	Hora Inicio: 14:31 Hora Térm: 14:36 Duración: 00:05	Hora Inicio: 15:25 Hora Térm: 15:31 Duración: 00:05	Hora Inicio: 16:30 Hora Térm: 17:35 Duración: 01:05
VELOCIDAD MEDIA	103,3 Kts.	103,5 Kts.	103,5 Kts	113,9 Kts (millas náuticas/hora)	105 Kts (millas náuticas/hora)
VARIACIONES DEL VUELO	Vuelo estable sin mayores variaciones.	Estable sin mayores variaciones.	Vuelo estable sin alteraciones.	No se registraron mayores variaciones.	Vuelo estable sin mayores variaciones.
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Despejado. Temperatura +24 a 25°C	Despejado. Temperatura +20°C	Despejado. Temperatura +24 a 25°C.	Despejado. Temperatura 20°C	Despejado. Temperatura > 20°
ESTABILIDAD DEL AVIÓN	Sin mayores alteraciones.	Sin mayores alteraciones.	Sin mayores alteraciones.	Sin mayores alteraciones.	Sin mayores alteraciones
NAVEGACIÓN	Controlada por G.P.S.	Controlada por G.P.S.	Controlada por G.P.S.	Controlada por G.P.S.	Controlada por G.P.S.
TRAZO	Se voló un trazo de 54 Km en dirección NW a S.V. entre el Río Claro y el Maule.	Se voló el mismo trazo de 54 Km en dirección NW a SW. entre el Río Claro y el Maule	Se voló un trayecto de aprox. 12 a 15 Km. correspondiente a un tercio del trazo.	Se voló un trayecto de aprox. 12 a 15 Km correspondiente a un tercio del trazo	56 Km.
IDENTIFICACIÓN GEOGRÁFICA. INMEDIATA	Durante el trayecto se grabaron 11 posiciones con G.P.S.	Durante el trayecto se grabaron 11 posiciones con G.P.S.	Durante el trayecto se grabaron posiciones geográficas mediante G.P.S	Durante el trayecto se grabaron posiciones geográficas mediante G.P.S	Durante el trayecto se grabaron posiciones geográficas mediante G.P.S.
RECONOCIMIENTO DEL RUMBO A VOLAR	Destino imaginario: coordenadas Lat. Sur 35°45'00" Long.W 71°34'30"	Destino imaginario: coordenadas Lat. Sur 35°45'00" Long.W 71°34'30"	Destino imaginario: coordenadas Lat. Sur 35°45'00" Long.W 71°34'30"	Destino imaginario: coordenadas Lat. Sur 35°45'00" Long.W 71°34'30"	Destino imaginario: coordenadas Lat. Sur 35°45'00" Long.W 71°34'30"
FORMATO DE CAPTURA DE INFORMACIÓN	Cinta de Video Super V.H.S.	Cinta de Video Super V.H.S.	Diskettes 3,5"	Diskettes 3,5"	Película Fujicolor de 6 x 6 cm Super HGil Daylight ISO. 100/21
RECUBRIMIENTO DE LAS TOMAS	Toma continua	Toma continua	Longitudinal: 10 a 30% aprox. Latitudinal: No existe	Longitudinal: 20 a 30% aprox. Latitudinal: No existe.	Longitudinal: 70 a 75% Latitudinal: No existe

Figura N 1
Fotografía de Gran Escala



La fotografía se referencia por el Río Claro, que aparece en la foto en la parte inferior. Se identifica una plantación de peral (R7), en la parte inmediatamente superior un parronal (R8) y señalado con R5 un cultivo de trigo. Ambos tipos de frutales se diferencian fundamentalmente por el tono verde más oscuro del parronal. El patrón de cobertura también es importante, destacándose la plantación de perales, de edad madura, por un distanciamiento mayor entre las plantas y un mayor predominio del suelo. En el caso del trigo, la textura fina es lo que diferencia a este cultivo de los frutales, además de un patrón de riego más intenso.

b) Consideraciones

En general el análisis visual es fácil de realizar a partir de patrones como los señalados, pero la poca diferencia tonal entre los usos del suelo lleva a una interpretación con un alto grado de confusión. Por ejemplo, es posible definir el conjunto de frutales pero no diferenciar manzano de peral de la misma edad. Situación similar se tiene con los cultivos.

Se trata de un producto destinado esencialmente al análisis visual, con todas las ventajas y limitaciones que los procesos interpretativos involucran, es decir la mayor extracción de información dependerá de la experiencia del interprete y de la metodología a utilizar para tal fin.

La escala de trabajo puede ser manejada, tratando de encontrar un equilibrio entre superficie cubierta y resolución espacial. En este sentido existe una gran flexibilidad, ya que se pueden obtener ampliaciones una vez adquiridas las fotos. La escala de las fotografías estudiadas corresponde aproximadamente 1: 6.500, cubriendo una superficie de 1,4 Km².

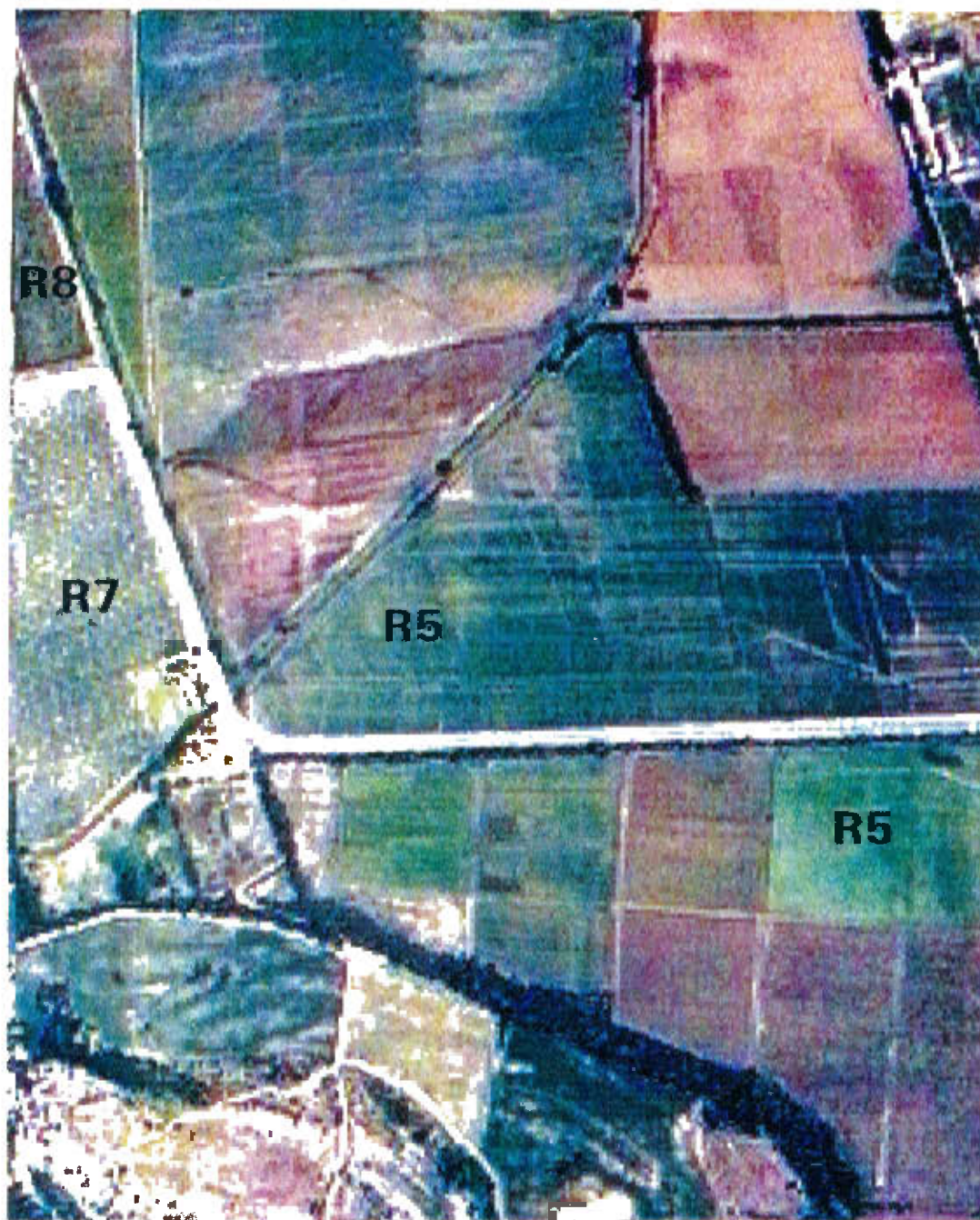
La desventaja de estas fotografías es la resolución espectral, la que se encuentra limitada a un sólo valor de reflectancia correspondiente al rango del visible entre 400 a 700 nm. Esto entrega una limitante para la identificación visual y digital de cultivos, dado que la variación de tonos se encuentra limitada, así como las posibilidades de tratamiento digital posible de aplicar, cuando se convierte (mediante scanner) a formato digital.

3.2.2 Resultados Obtenidos con la Cámara de Video

a) Productos y resultados obtenidos

Se obtuvo una cinta de video con escenas continuas de la franja volada, lo cual permitió una visión general e identificar zonas de interés. Posteriormente algunas escenas fueron capturadas y llevadas a formatos compatibles con los sistemas de procesamiento digital (ERDAS e IDRISI) e impresas a escalas similares a las de las fotografías aéreas, con el fin de poder establecer algún tipo de comparación (Figuras 2 y 3).

Figura N 2
Imagen Obtenida con Cámara de Video



La imagen muestra el mismo sector que fué capturado con la fotografía aérea que se muestra en la Figura N 1. Por medio de la combinación de las bandas roja, verde y azul, es posible obtener el producto adecuado para la identificación de un determinado cultivo. Este juego de combinaciones es posible gracias a que la cámara de video descompone la energía electromagnética en tres haces de color (RGB), por lo que entrega más diferencias entre cultivos parecidos que la fotografía aérea.

Figura N 3
Imagen Obtenida con Cámara de Video



La imagen muestra distintos usos del suelo. En el costado izquierdo y en color azul es posible identificar un tranque (A1), los tonos café-verdosos corresponden a sectores en los cuales la cubierta vegetal no es completa y existe una predominancia de reflectancia del suelo (A2). En tonos verdes e identificados con A3 se identifican matorrales, los verdes claros y verdes oscuros de textura muy fina, corresponden a diferentes cultivos de siembra reciente con distintos grados de desarrollo (A4). Los tonos rosados, fueron identificados como tierras en barbecho o cultivos de siembra reciente (A5).

Ambas imágenes presentan un bajo nivel de contraste y por consiguiente una baja diferenciación de los cultivos, esto se debe a las características del sensor y a la captura de la pantalla para transformar la imagen continua en escenas fijas.

b) Consideraciones finales

La cinta de video presenta un valioso aporte como material de apoyo (en oficina) al análisis visual, dado que permite tener una visión continua del terreno, observar detalles y relacionarlo con el conjunto de información, incluyendo el sonido del ambiente. Las indicaciones grabadas mediante el audio, constituyen datos de campo que entregan seguridad al proceso de interpretación y de ubicación.

Para analizar escenas por separado es necesario proceder a la captura de ellas, para lo que se debe contar con los programas computacionales adecuados, los que junto a las capacidades del hardware, determinan la calidad espacial de la captura. Esto permite el análisis digital de los datos y una impresión final de la escena, no obstante el propio tratamiento digital es limitado.

La superficie posible de capturar es pequeña, hecho que hace necesario la confección de mosaicos.

3.2.3 Resultados Obtenidos con la Cámara Fotográfica Digital

a) Productos y resultados obtenidos

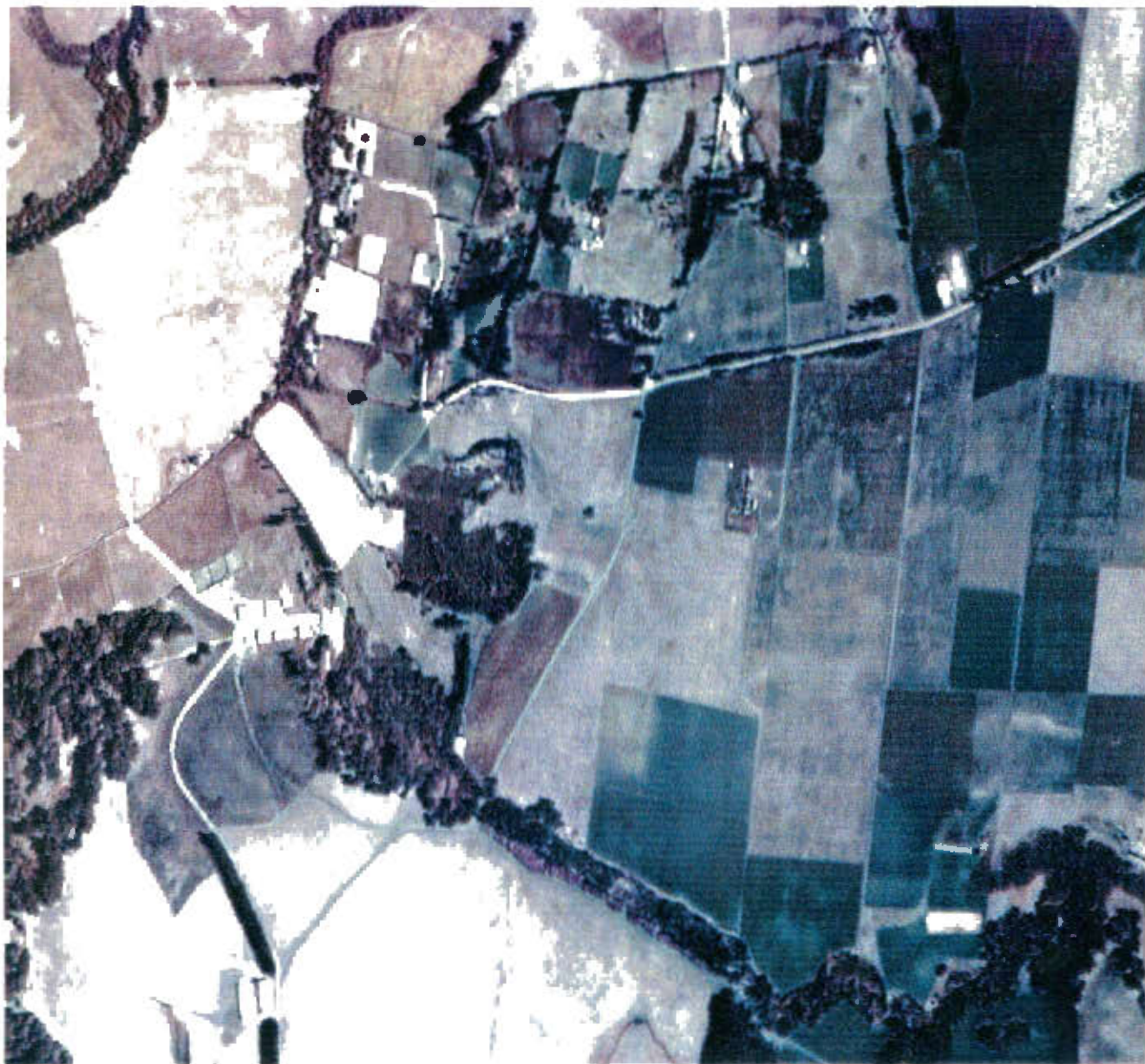
Los productos obtenidos por esta cámara digital fueron en los siguientes:

- i) Para la altitud del vuelo 3.000 pies, se obtuvieron 30 fotos con un ancho de barrido de 495 m. y una resolución espacial de 0,32 m.
- ii) Para la altitud de 6.000 pies se obtuvieron 50 fotos con un ancho de barrido de 495 a 990 m. con resolución espacial de 0,32 y 0,64 m.

El traslape utilizado para la captura de las imágenes fue entre un 10 y un 30%.

La imagen que se presenta (Figura 4), corresponde a un sector rural. Se aprecia un buen grado de definición al observar los potreros, caminos y construcciones menores. La vegetación aparece claramente diferenciada, sobresaliendo los matorrales y la vegetación de quebrada, que aparece en tonos verde oscuro. Por los distintos tonos de verde es posible identificar diferentes cultivos, dependiendo del grado de desarrollo. Por último, en tonos café claro, se identifican los suelos sin vegetación o potreros en barbecho.

Figura 4
Imagen Cámara Digital



La imagen de cámara digital, presenta una muy buena resolución espacial, lo que se puede apreciar en la delimitación de potreros, caminos y construcciones. Presenta un alto contraste entre la vegetación y el suelo.

b) Consideraciones finales

Las imágenes similares a las de la Figura 4, entregan buena definición y contraste y permiten identificar cultivos y variaciones al interior de los potreros.

Las cámaras digitales, tal como se presentaron al inicio, tienen la capacidad de registrar cuatro bandas en el rango espectral óptico (de 400 a 900 nm), sin embargo la que se aplicó en este estudio tiene la limitante de tres bandas, referidas sólo al rango espectral del visible.

En comparación con las imágenes de video, estas imágenes son de mejor calidad. Con respecto a las fotografías aéreas, desde el punto de vista de su resolución espacial y espectral los resultados son similares. La ventaja de este producto en relación a la imagen de video y a la fotografía aérea, es la posibilidad de manipular digitalmente las bandas del visible en forma separada con facilidad, dado que son separables por la cámara. Sin embargo, espectralmente se sigue trabajando dentro del visible, lo que no permite buenos resultados en los procesos de clasificación digital en cultivos.

En lo que se refiere a la altitud de vuelo más adecuada para la toma de estas imágenes, las captadas a 3.000 pies, permiten observar con mayor claridad obras civiles (obras de riego, caminos, casas), distinguir entre tierras cosechadas, cultivadas y en barbecho. La captura de imágenes a una altitud de 6.000 pies, no significó un cambio sustancial en la capacidad discriminatoria en lo que respecta a los cultivos, pero sí una ganancia a nivel de cubrimiento.

La desventaja principal de estas imágenes, comparativamente con las fotografías aéreas, es la pequeña extensión que cubren.

La ventaja principal de este tipo de datos es el formato digital, lo que permite ser directamente tratado por equipos de procesamiento digital y los resultados compatibles en forma directa con Sistemas de Información Geográfica de tipo raster.

3.2.4 Resultados Obtenidos con el Sensor CASI

a) Productos y resultados obtenidos

Para el proyecto piloto del área de Talca, se capturaron imágenes CASI en la misma línea de vuelo realizada previamente para las fotografías aéreas, las imágenes de video y para las imágenes digitales.

La fecha de toma correspondió al 28 de marzo de 1995, lo que implica una diferencia aproximada de 4 meses con la toma de las fotos aéreas.

b) Aspecto geométrico

La corrección geométrica de los datos no fue realizada, por no disponer del programa necesario para ello, ni de los puntos de control obtenidos por GPS. Esto se aprecia en la Figura 5, donde la disposición espacial de los elementos lineales (como caminos, límites de cultivos, cercos etc.) aparecen curvos, especialmente los segmentos lineales verticales de dirección norte-sur, los que en la realidad corresponden a líneas rectas. Este hecho se explica por el sistema de registro de los datos y por los movimientos de la plataforma. Este es uno de los aspectos que se puede citar como desventaja de los datos CASI.

En primer lugar, se trata de datos adquiridos sobre un avión cuyos movimientos y desplazamientos determinan una posición relativa errónea de los elementos del paisaje, así como una deformación del pixel y por consiguiente de su tamaño, quedando normalmente con tamaños diferentes en x y en y. Por otro lado, las diferencias altitudinales del terreno aportan un sesgo más a la posición planimétrica registrada.

En segundo lugar, el sistema del sensor implica un registro de datos por línea, lo que debido al avance del avión -que puede resultar irregular- produce desfases entre los datos de las líneas.

Todo esto configura una situación, desde el punto de vista geométrico, difícil de corregir por los métodos y algoritmos tradicionales, necesitándose para ello programas y algoritmos especiales de procesamiento en la corrección. Además se necesita una elevada cantidad de puntos de control, lo que implica un mayor número de horas de trabajo de procesamiento para finalmente disponer de ellos en sistemas cartográficos compatibles.

c) Aspecto radiométrico

La posibilidad de definir las bandas, permite determinar el número de estas y los rangos más adecuados para el análisis digital y visual de las zonas bajo estudio.

En este caso se cuenta con nueve bandas donde las N° 1 y 2 se encuentran en el rango del azul, la 3 y 4 en el rango del verde, la 5 en el rojo, la 6, 7, 8 y 9 en el infrarrojo cercano.

Estos datos permiten buscar imágenes adecuadas para el estudio de la vegetación. A continuación presentamos tres combinaciones falso color que realzan la vegetación, utilizando la asignación de los colores rojo, verde y azul (RGB), incluyendo en cada una de ellas una banda del infrarrojo con las bandas del visible.

Combinación N° 1: bandas 8, 6 y 4 (Figura 5)

En esta imagen se presenta la vegetación en colores que van desde los amarillos al rojo oscuro. Se aprecian buenos contrastes entre los distintos grados de cobertura y vigor vegetación, así como entre los distintos elementos (agua, suelo, vegetación).

En la parte superior de la imagen se puede apreciar un huerto frutal correspondiente a perales de altura media de 4 a 8 metros, con 90 % de cobertura de hojas (al momento de la toma del sensor CASI), A1, pero con decrecimientos de esta al interior del frutal. Esta situación se ve reflejada por distintos tonos (amarillo a café) que se asocian también a distintos grados de vigor vegetacional.

En la zona inmediatamente inferior se encuentran parronales con plena cobertura del dosel y distintas variedades y estado de vigor, situación que se diferencia en la imagen por distintos tonos amarillos (A2).

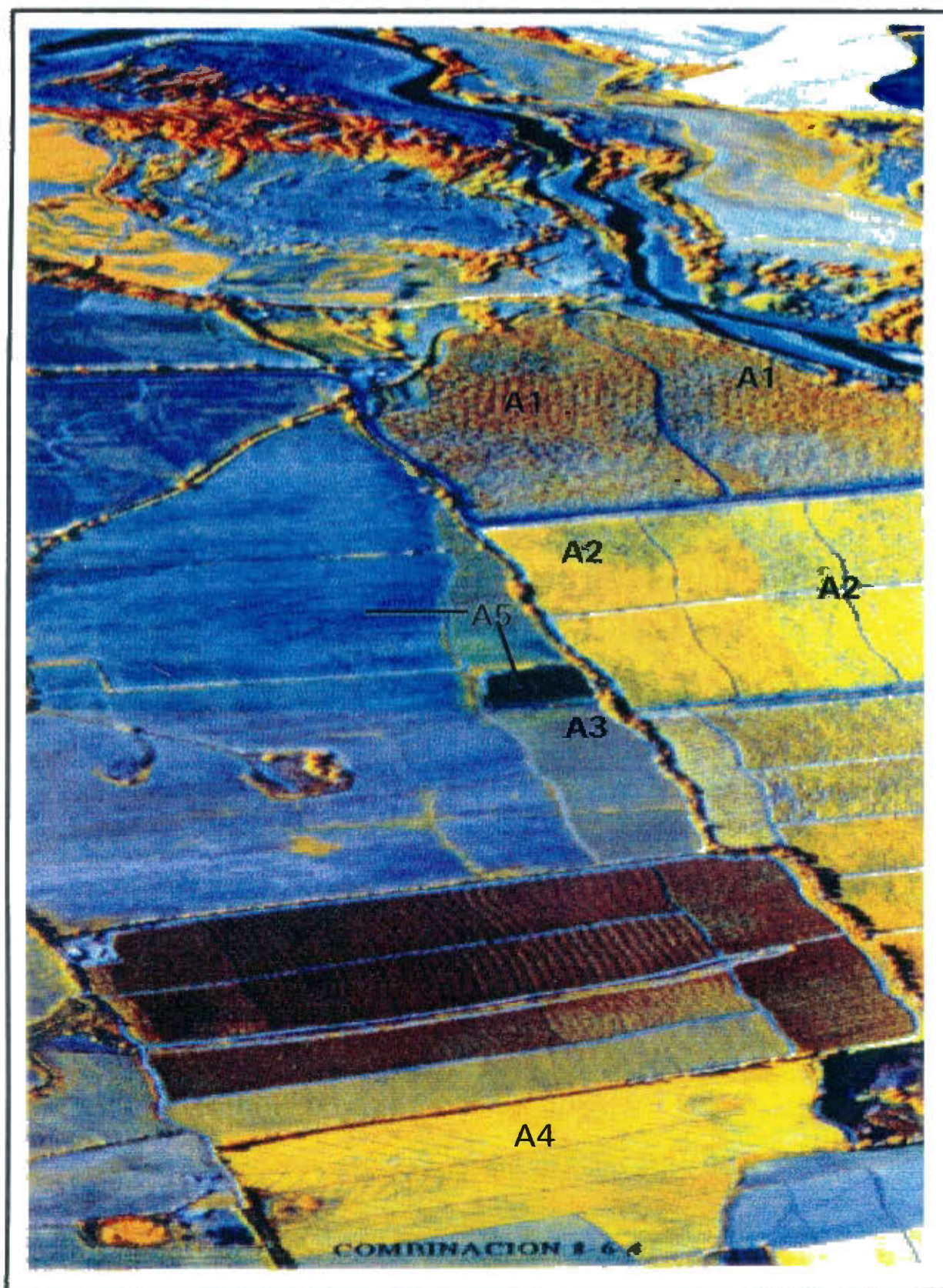
Otro ejemplo, es la situación vegetacional que se encuentra aledaña al tranque de agua (ver al centro de la imagen), donde lo predominante es la reflectancia de fondo que entrega el suelo de color pardo, la vegetación que se encuentra presente, corresponde a pastos y hierbas verdes y en diferentes estados de clorosis (A3).

En la parte inferior de la foto en color amarillo, vemos un ejemplo de cultivo de remolacha, cuyas hojas cubren un porcentaje alto del suelo, que se presenta (A4). En este caso el color amarillo se contrasta con los cultivos del entorno. Cabe hacer notar que el amarillo es el resultado de combinar en proporciones similares (adición del color) los colores verde y rojo, a los que se encuentran asignados en esta combinación, las bandas 8 y 6 (ambas del infrarrojo cercano).

Lo anterior nos lleva a concluir que esta combinación es adecuada para discriminar la presencia de vegetación y sus diferencias dadas por la existencia de distintos cultivos, estados de desarrollo y vigor.

Por contraste con los demás elementos, el agua y el suelo aparecen también claramente identificables (A5).

Figura 5
Imagen CASI. Combinacion Bandas 8,6,4 (R,G,B)



Combinación N° 2: bandas 7, 2 y 4 (Figura 6)

Esta combinación corresponde a una banda del infrarrojo, una del azul y otra del verde, siendo las bandas del verde y la del infrarrojo las que presentan mayor valor en los niveles digitales (ND). Por esta razón, en este caso la vegetación se presenta en colores naranja a rojo, correspondiendo los tonos rojos a los cultivos con mayor vigor y mayor cobertura del dosel (B1) (Figura 6). Los contrastes entre tipos de cultivos diferentes son buenos, no así las diferencias de vigor en el propio cultivo.

En relación a los otros tipos de elementos (suelo y agua), se produce una clara identificación, pudiéndose separar los diferentes tipos de suelos, de otros elementos como el agua (B2). Esto se debe a que la banda del azul y del verde aportan una mayor discriminación de ellos, produciéndose incluso una separación tonal entre los caminos de asfalto y los de tierra, identificándose por un color verde los caminos de asfalto (B3) y en cyan los de tierra (B4).

Una combinación con resultados similares, pero menos contrastados los diferentes cultivos se logra con las bandas 8, 5 y 4 (R,G,B). En este caso se trata de una banda del infrarrojo, una del rojo y la del azul.

Combinación N° 3: bandas 8, 5 y 3.

Esta combinación es la más cercana a la denominada "composición falso color convencional", las bandas corresponden al infrarrojo, al rojo y al verde (RGB). (Figura 7). La vegetación se presenta en distintos tonos de rojo que van desde el magenta hasta el rojo oscuro para los cultivos de mayor vigor y densidad de cobertura del dosel (C1). Los suelos desnudos en este caso se presentan de color verde (C2) y se diferencian los grados de humedad siendo más oscuros los sectores más húmedos. El agua adquiere el típico color negro debido al alto grado de absorción de este elemento en el infrarrojo y en el rojo (C3).

En resumen, con la finalidad de realizar análisis visual, las tres combinaciones presentadas representan las diferencias entre cultivos y la variabilidad al interior de los propios cultivos, estando en correspondencia con el orden presentado la calidad de contraste de las combinaciones. En otras palabras la primera combinación representa mejor las diferencias entre cultivos.

Según la literatura las combinaciones 1 y 2 son las más adecuadas para diferenciar distintos tipos de bosques (Pons, 1992).

Figura 6
Imagen CASI. Combinación Bandas 7,2,4 (R,G,A)

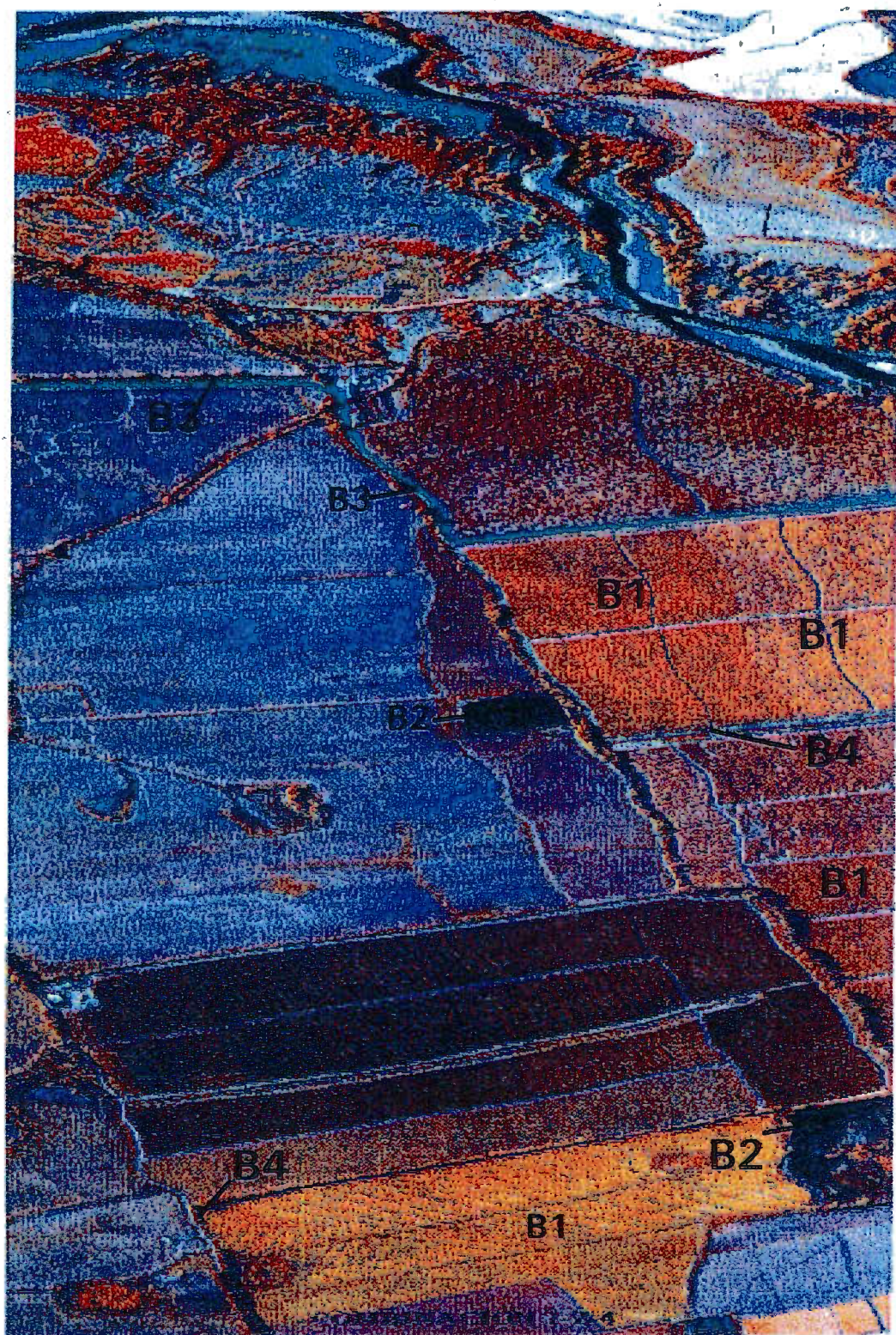
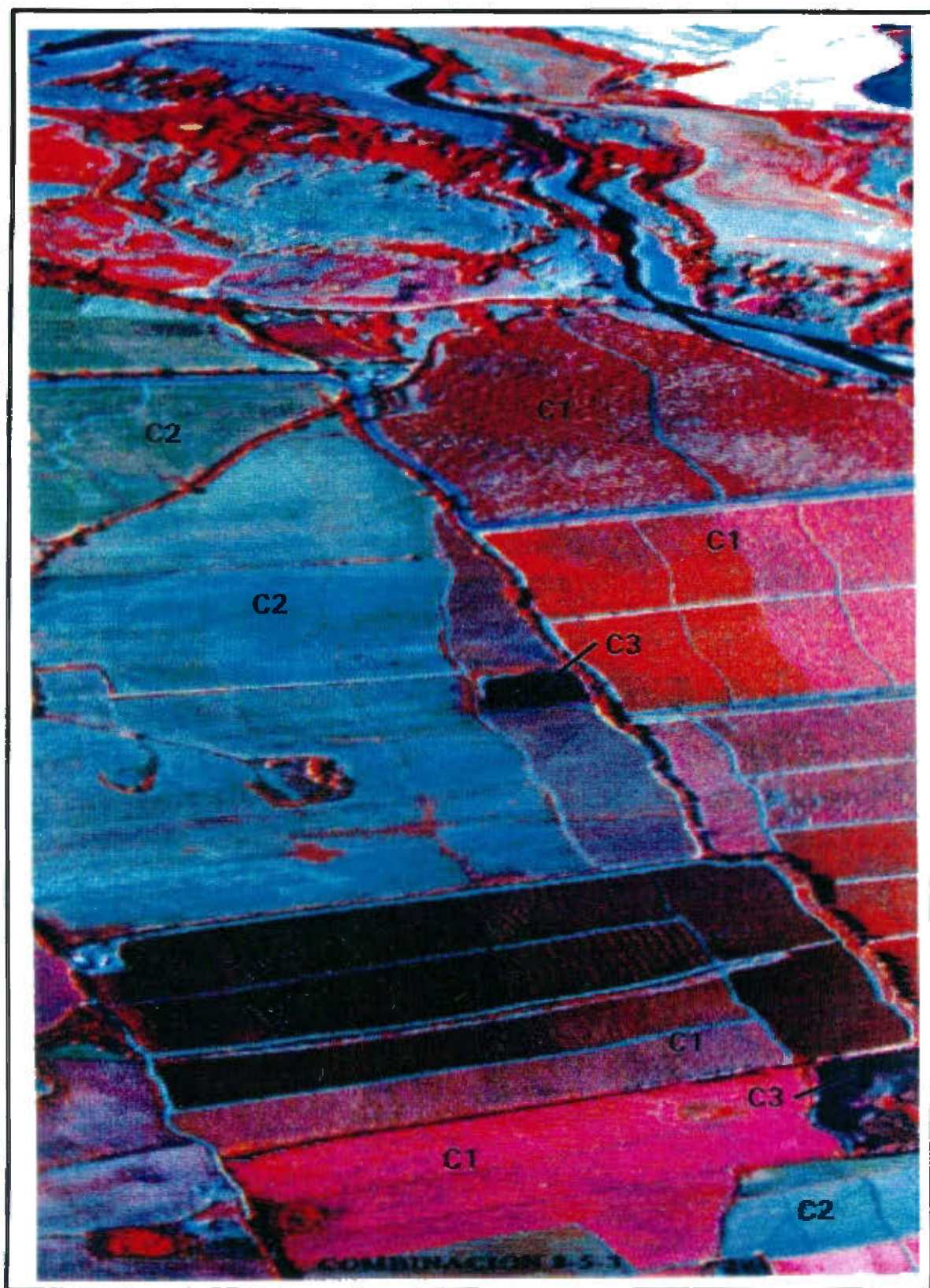


Figura N 7
Imagen CASI. Combinación Bandas 8,5,3 (R,G,B)



3.3 Evaluación Técnica de los Sensores

Con la finalidad de resumir lo expuesto en términos técnicos para cada uno de los sensores, presentamos a continuación (Cuadro N° 4), una comparación entre ellos en base a 10 criterios síntesis.

Para esto se ha considerado los sensores ubicados a una altura media de vuelo de 6.000 pies, sobre un avión de techo bajo.

Las variables utilizadas son:

- a) Formato; corresponde al tamaño de los dispositivos de captura. Para las cámaras Hassemblad y de video se expresan en milímetros y en el caso de la cámara de video y el sensor CASI se expresan en cantidad de filas (f) y columnas (c).
- b) Resolución espacial; referida a la superficie mínima de terreno que es capaz de registrar el sensor a la escala definida por la altitud de vuelo. En el caso de la fotografía aérea se consideró un 1 cm², en los demás sensores corresponde al tamaño del pixel para la misma altitud.
- c) Resolución espectral; corresponde a la capacidad de registro de las variaciones de las longitudes de onda por los sensores. En el Cuadro 4, se representa con una "V" la capacidad de registrar longitudes de onda en el espectro visible (0,4 a 0,7 um), con IRp el registro del infrarrojo próximo (0,7 a 1,8 um).
- d) Resolución radiométrica; es el valor digital que puede tomar cada pixel. En el caso de la fotografía corresponde a los niveles de grises o de tonos que es capaz de diferenciar el ojo humano, de acuerdo al tipo de emulsión utilizada, en el caso de los demás sensores corresponde a los niveles digitales (ND) que son discriminados.
- e) Cubrimiento de una escena; lo que registra el sensor para la altitud señalada y como salida final del producto.
- f) Tipo de dato; se refiere si es digital o analógico.
- g) Facilidad de toma; engloba la facilidad de montar y manejar el sensor para conseguir registros adecuados, incluye el montaje del sensor, operación y posterior procesamiento para obtener productos impresos, se clasifica como alta, media y baja.

- h) Corrección geométrica; indica la facilidad de georreferenciar los datos finales y hacerlos compatibles con la cartografía convencional. Se clasifica en fácil, difícil y compleja.
- i) Experiencia en el manejo de los datos; indica el entrenamiento que se tiene en Chile y la experiencia en la interpretación de los datos que entrega cada sensor.
- j) Finalmente la facilidad de reproducción tiene relación con el proceso de impresión de los datos en papel, en este caso se clasificó en alto, medio y bajo.

Cuadro N° 4 Comparación técnica de los sensores					
	Sensores =>	Cámara Hasseblad	Cámara de Video	Cámara Digital	Sensor CASI
a)	Formato	55 x 55 (mm)	12,7 x 12,7 (mm)	1035 f x 1317 c*	288 f x 512 c
b)	Resolución espacial (ha)	0,42	0,15	0,0001	0,0004
c)	Resolución espectral	Visible	Visible	Visible + IRC	Visible+ IRC
d)	Resolución radiométrica	120	256	256	256
e)	Cubrimiento de una escena (ha)	136	18,3	98	167
f)	Tipo de dato final	Análogo	Digital	Digital	Digital
g)	Facilidad de toma	Alta	Alta	Media	Baja
h)	Corrección geométrica	Fácil	Difícil	Difícil	Compleja
i)	Experiencia el manejo de los datos	Alta	Media	Media	Baja
j)	Facilidad de reproducción	Alta	Baja	Media	Media
(*) f = filas y c = columnas					

Los resultados que presenta este cuadro (Cuadro N° 4) indican que los sensores CASI y cámara digital tienen ventaja en términos de sus características de resolución espacial, espectral y radiométricas, en relación con la cámara aérea. Esto sin embargo se invierte al considerar las variables de facilidad de toma, corrección geométrica de los datos, experiencia en el manejo y facilidad de reproducción de los productos finales.

Tal como se describió en las páginas anteriores, la ventaja del sensor CASI en términos de resolución espectral, es su aporte para la identificación y estudio de los cultivos. Sin embargo, a la hora de decidir, se debe pensar en el objetivo final.

Si el objetivo es analizar cultivos sólo a partir de los datos del CASI (sin realizar consideraciones económicas, que se verán más adelante), resulta ser el mejor sensor. Si el objetivo es obtener información complementaria a otros datos, las alternativas a considerar son la cámara aérea, video y digital.

La gran ventaja de la cámara de video, la digital y del CASI es que los datos son digitales, por lo que son posibles de manipular y analizar mediante sistemas de procesamiento digital e integrarlos en sistemas de información geográfica. En este sentido el sensor más complicado de integrar es el CASI, por cuanto la corrección geométrica requiere de número alto de puntos de control y de programas especiales para realizarlo, programas que si bien existen, no son de uso público, sino de propiedad de la empresa.

La gran ventaja de la foto aérea es la buena resolución espacial, la facilidad de obtención y la experiencia que se tiene en el manejo de este tipo de datos, satisfaciendo plenamente los requerimientos de información de detalle y complementaria que se necesita para el estudio del uso del suelo.

Por lo tanto consideramos que es difícil determinar qué sensor es mejor que otro. Cada usuario debe analizar sus requerimientos reales y a partir de ellos definir el sensor más adecuado. Los antecedentes que entregamos, a partir de la experiencia desarrollada en este estudio sólo pretenden ser una orientación para los futuros usuarios.

4. ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis se realiza en función de la superficie que cubre cada sensor (Cuadro N° 5), para una toma a 6.000 pies. La comparación final se realiza en relación a la fotografía aérea, por ser esta el sensor más tradicional (Cuadro N° 5).

No se incluyen en estos costos ítemes como imprevistos, administración, horas muertas por condiciones climáticas, traslados de personal extranjero o chileno desde fuera o dentro del territorio nacional.

4.1 Consideraciones de Costos de Fotografías de Gran Escala

El costo final por fotografía aérea tomada con este tipo de cámara y con la plataforma descrita es de \$ 6.500, correspondiente a 0,54 UF (unidad de fomento), esto considera las horas de vuelo, honorarios camarógrafo, proceso de revelado y obtención del producto final en papel.

4.2 Consideraciones de Costos de Imágenes Obtenidas con Video

Los costos en este caso se reducen al valor del vuelo, incluyendo honorarios del camarógrafo, más las horas profesionales de edición y captura de escenas.

Todas estas actividades por escena grabada, procesada e impresa en papel tiene un costo algo menor que el de la fotografía aérea convencional, ascendiendo a \$ 5.800 (0,48 UF).

4.3 Consideraciones de Costos de Imágenes Obtenidas con Cámara Digital

En esta materia debe considerarse el tipo de producto que se desea valorar, ya que a diferencia de la foto en película, el sistema digital puede ser entregado en forma magnética, en diskettes, en CD-ROOM o en impresos de diferentes modalidades y con distintas calidades. Es importante este punto ya que, un mal producto pone en juego las ventajas del sistema digital o el producto puede resultar inadecuado para el tipo de estudio que desea realizar.

El producto básico que se puede considerar es una imagen en "bruto" de una resolución de 1.317 x 1.035 pixeles y con una profundidad de 8 bits. Esto incluye un archivo o listado con la información adicional que posee cada imagen, con los datos siguientes:

- . Día y hora en que se tomó la imagen.
- . Nombre del lugar o sector que se estudia.
- . Coordenadas del lugar leídos del GPS.
- . Proyecto
- . Operador del sistema y del avión
- . Condiciones Meteorológicas
- . Notas especiales

Los gastos involucrados para obtener este producto de imagen en "bruto" son:

Material magnético	:	\$ 1.000 diskette por imagen
Disco Duro	:	\$ 200 valor del espacio que requiere.
Print Básico	:	\$ 1.500 papel de alta resolución e impresora
Equalización	:	\$ 200 redistribución de tonos básica para resaltar detalles
Mano de obra	:	\$ 1.000 de pre-procesamiento y adquisición de las imágenes
Total	:	\$ 3.900 costo por banda, equivalente a 0,32 UF.

Para las imágenes multibanda se debe considerar además una impresión a color de la imagen combinando sus bandas. Ello involucra una equalización e impresión especial. Para la multibanda además existe un costo adicional por la calibración y ajustes de los tiempos de exposición de cada filtro, de manera de adecuarlos a la luminosidad del lugar en estudio. Esto depende del tipo de filtro que se desee utilizar.

Este costo no se incluye en cada imagen sino que es fijo para un determinado proyecto. Para este proceso se estima un costo adicional de \$ 3.200 (0,27 UF) por cada escena, mediante impresora termal.

El costo final, considerando lo anterior es de 0,59 UF.

4.4 Consideraciones de Costos de Imágenes CASI

El costo de la imagen CASI incluye los siguientes ítems:

- . Resolución del pixel
- . Depreciación sensor
- . Procesamiento digital (corrección radiométricas y geométrica de los datos)
- . Horas de vuelo

Viático de operador y personal técnico

La suma de todo ello corresponde a 0,58 UF / ha y, por escena de 9,7 UF.

4.5 Resumen de Costos por Superficie para los Cuatro Sensores

Cuadro N° 5 Comparación de costos en Unidad de Fomento (UF)				
Sensor	UF/ha	UF/escena	UF v/s foto aérea	Superficie escena a 6.000 pies
Cámara Hassenblad	0,004	0,54	0,54	136 ha
Cámara de video	0,026	0,48	3,53	18.3 ha
Cámara digital	0,006	0,59	0,82	98 ha
CASI	0,058	9,70	7,89	167 ha

El cuadro anterior compara para la superficie que cubre la foto aérea (136 ha) los costos de los demás sensores, considerando un producto terminado e impreso en

papel. Así para las cámaras de video, digital y sensor CASI resulta un costo de 3,53; 0,82 y 7,89 UF respectivamente para cubrir la misma superficie que es cubierta por una fotografía tomada con la cámara Hassemblad.

Se pone de manifiesto la diferencia de costos entre los sensores de formato digital con la fotografía aérea, resultando ser esta la más barata, posteriormente se encuentra la cámara digital, luego el video y finalmente el sensor CASI, el cual para cubrir la misma superficie de una fotografía tiene un costo de 14,6 veces más.

El video resulta ser el segundo sensor más caro debido a la superficie que se es capaz de capturar por pantalla, si esto se superara, lo que es posible con tecnología apropiada, el costo se reduciría considerablemente.

En el caso del sensor CASI, la agravante es que este tipo de sensor no se encuentra disponible en Chile, lo que obliga a contratar los servicios a empresas extranjeras, sean estas canadienses, españolas o de Estados Unidos, tanto en lo que se refiere a la captura de información como a los programas: para el procesamiento de la georeferenciación de los datos.

5. CONSTRUCCIÓN DE MOSAICOS CON IMÁGENES DE SENSORES

5.1 Antecedentes

Para que un sistema digital de imágenes, como es el caso de la cámara de video, la digital y del sensor CASI y en alguna medida las propias fotos aéreas, sea relativamente eficiente y competitivo en el cubrimiento de grandes superficies, es fundamental considerar la principal desventaja, que es el bajo recubrimiento espacial que tienen comparados con la fotografía tradicional. Una solución es realizar mosaicos de tamaños apropiados.

La creación de mosaicos, tradicionalmente ha sido una tarea laboriosa, no exenta de errores. Como el objetivo es tratar de buscar una solución mediante métodos computacionales, se ha desarrollado un programa (GeoPhoto v1.0) que permite realizar desde un simple mosaico "geométrico digital", es decir la unión de imágenes considerando la continuidad y la referencia espacial de las imágenes, hasta la complejidad de un "mosaico radiométrico". Además de lo anterior se compensan las diferencias radiométricas entre cada imagen dentro de determinados rangos de tolerancia, logrando con ello llegar a tener ortofotos digitales en forma directa.

Para el caso "geométrico", la corrección solo requiere que las imágenes presenten a lo menos cuatro puntos identificables comunes entre pares de imágenes consecutivas, las que deben contar con una zona de traslapo. Con ello pueden unirse dejando una imagen como referencia. Lo mismo puede hacerse si se encuentran puntos reconocibles entre la imagen y la carta regular. En este caso se puede corregir la imagen llevándola a las formas que tendría si se hubiese tomado en forma perpendicular a la horizontal del terreno.

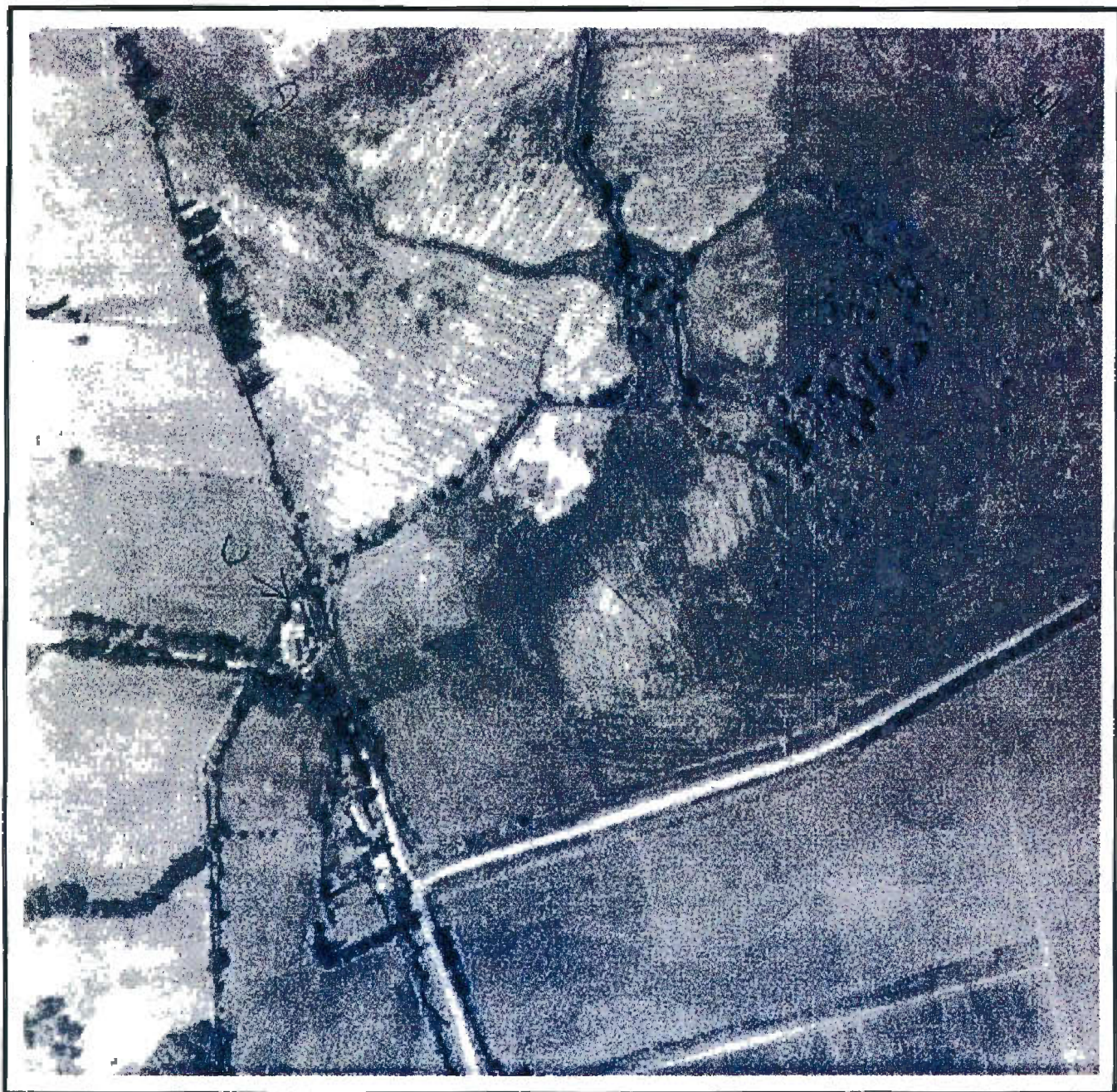
Aunque la solución de corrección "geométrica" no basta para casos en que hay muchas montañas, es una fórmula absolutamente eficiente y muy rápida para terrenos agrícolas planos, lo cual pone en estos casos al sistema digital a la cabeza en la lista de sistemas de captura de información aérea, ya que superando el problema generado por la topografía accidentada, tiene ventajas en relación a la obtención de las imágenes.

5.2 Corrección Geométrica y Radiométrica

Con la finalidad de mejorar la calidad de las imágenes y de esta manera, facilitar la interpretación de la información contenida, es necesario realizar una corrección geométrica y una radiométrica a las imágenes. Estas correcciones son un requisito para la construcción de mosaicos digitales, los cuales permiten tener visiones continuas de las áreas cultivadas (Figura 8).

Este trabajo requiere de un estudio previo de las características particulares que representa el trabajo, determinando con ello los tiempos y costos de la operación. Básicamente el costo de mano de obra es lo más importante en esta materia y por lo tanto la estimación de la dificultad del problema es clave.

Para tener una idea, la corrección geométrica de cada imagen y su incorporación a un mosaico se estima en alrededor de 1 UF (Unidad de Fomento). Esto no solo incluye la determinación de la corrección, sino que además la corrección de tonos y bordes para poder unir sin problemas las imágenes. Por otro lado, para los sectores que no son muy planos podría ser inadecuado utilizar solo la corrección geométrica, y eventualmente podrían requerirse correcciones "radiométricas". En esos casos los costos aumentan en una proporcionalidad acorde con los tiempos involucrados en el proceso de corrección de bandas.

Figura N 8**Mosaico Digital Obtenido de las Fotografías Aéreas del Area de Estudio**

6. ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES

De lo expuesto en relación a cada sensor, se puede señalar que con excepción de la cámara fotográfica de gran escala y el sensor CASI, la limitante mayor, se encuentra en la baja cobertura de terreno que cubre cada escena registrada y que se obtiene como producto final. De igual forma, con excepción del sensor CASI, la resolución espectral es baja.

En relación a la experiencia en el manejo y obtención de información, la cámara fotográfica de gran escala es la que ofrece mayores ventajas por la simplicidad en la adquisición y en la obtención del producto final, así como en la interpretación visual de los cultivos. No obstante para los estudios agrícolas (debido a la resolución espectral) se necesita una etapa de terreno intensiva, de lo contrario no es posible identificar cultivos con un grado de confusión aceptable.

La cámara de video resulta ser una herramienta útil como apoyo a la recreación del terreno para los analistas, tanto en el procesamiento digital como visual. En este sentido las imágenes de video complementan la visión que entregan las fotografías aéreas, especialmente porque presentan una imagen continua del terreno.

La utilización del video es una herramienta útil y recomendable como apoyo a la interpretación de imágenes y a las propias fotografías.

Cámara Digital:

Para el caso de la cámara digital, se considera necesario contar con mayor capacidad de almacenamiento de las tomas fotográficas digitales, ya que en una franja de 50 km. sólo fue posible registrar la cuarta parte del total de la trayectoria, limitando entonces la capacidad de análisis y de observación. Para subsanar esta limitante, sería necesario almacenar el registro fotográfico directamente al disco duro de un computador, y no en el limitado disco duro de la cámara (80 Mb.; 50 imágenes).

También se considera imprescindible registrar información aérea a mayor altura, ya que el limitado campo visual de la cámara digital (sólo 15% de una cámara convencional), impide tener una visión de campo más amplia, y con esto hacer comparaciones entre distintos paños de cultivo. Esto también es recomendable para la ubicación de puntos de control geográficos que harán posteriormente posible la corrección geométrica de los mismos.

Figura 7
Imagen CASI. Combinación 8, 5, 3 (RGB)

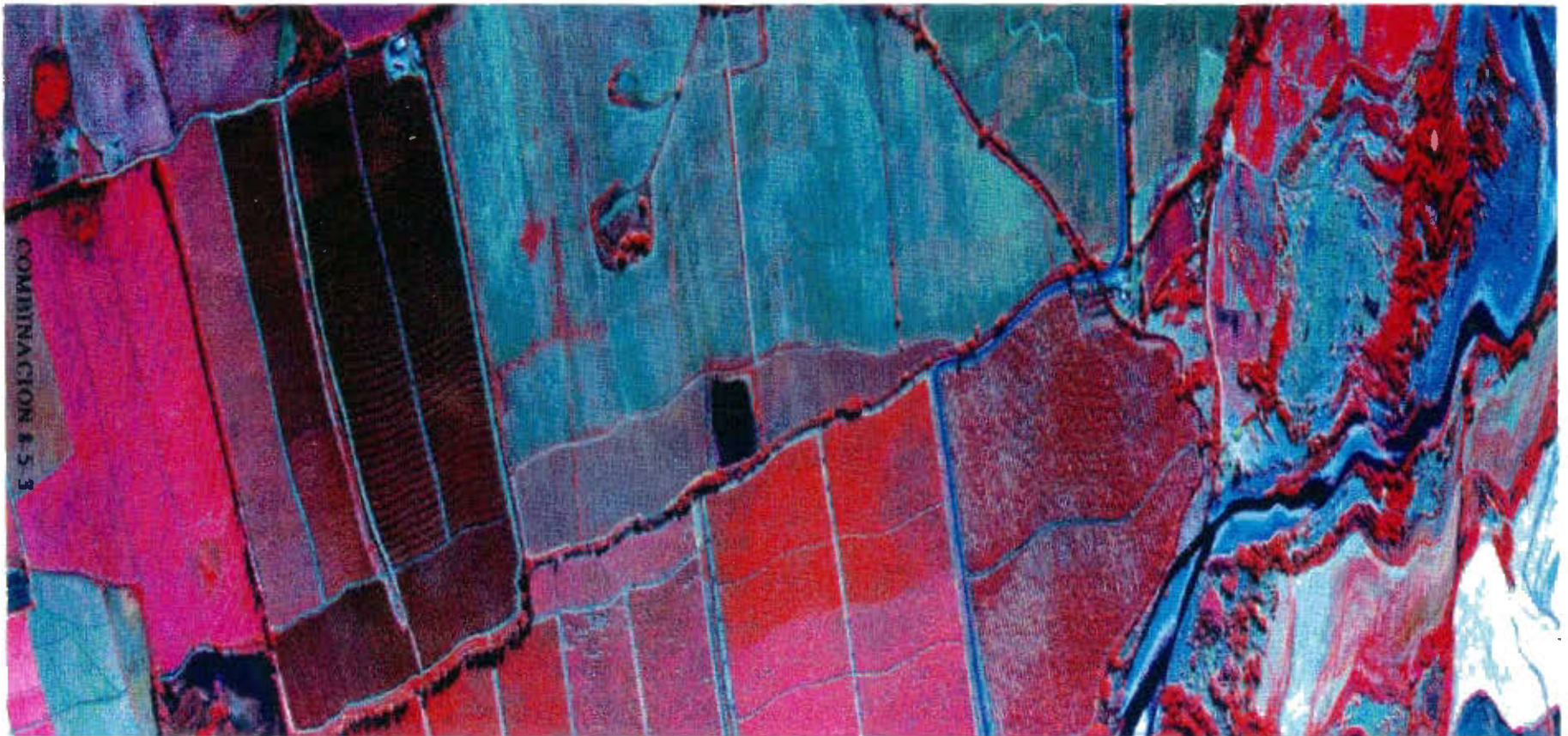


Figura 5
Imagen CASI. Combinación 8, 6, 4 (RGB)



Sensor CASI:

El barredor multiespectral CASI tiene su mayor ventaja en la resolución multiespectral, especialmente en la facilidad de realizar procesamiento digital y clasificaciones de los cultivos, toda vez que es posible contar con un número adecuado de bandas espectrales en el rango espectral óptico.

El cuadro comparativo que se presenta a continuación (Cuadro N° 6) reúne las características principales que fueron expuestas para cada sensor, incluyendo los costos.

Cuadro N° 6 Características y Costos de los Cuatro Sensores Aéreos				
Sensores =>	Cámara Hassemblad	Cámara de Video	Cámara Digital	Sensor CASI
Formato	55 x 55 (mm)	1,27 x 1,27 (cm)	1035f x 1317c	288f x 512 c
Resolución espacial	0,42 ha	0,15 ha	0,0001 ha	0,0004 ha
Resolución espectral	Visible	Visible	Visible + IRC	Visible + IRC
Resolución radiométricas	120	256	256	256
Cubrimiento de una escena	136 ha	18,3 ha	98 ha	167 ha
Facilidad de toma	Alta	Alta	Media	Baja
Tipo de dato final	Analógico	Digital	Digital	Digital
Corrección geométrica	Fácil	Difícil	Difícil	Compleja
Experiencia el manejo de los datos	Alta	Media	Media	Baja
Facilidad de reproducción	Alta	Baja	Media	Media
UF/ha	0,004	0,026	0,006	0,058
UF/escena	0,54	0,48	0,59	9,7
UF/área de foto	0,54	3,53	0,82	7,89

Por lo anterior es recomendable, producto de las limitaciones de discriminación espectral de los cultivos, la toma de información en forma oblicua, lo que permitiría mayor campo visual y con ello mayor variabilidad de uso del suelo, no obstante esta técnica sólo es posible cuando el dato es considerado como apoyo para la interpretación y no cuando el objetivo es obtener cartografía de uso del suelo, por cuanto las distorsiones geométricas no son posibles de corregir con una calidad aceptable.

Todos los datos sirven como complemento al estudio multinivel de imágenes satelitales y sólo es recomendable la utilización de sensores aéreos para el levantamiento de áreas pequeñas o para la actualización periódica de zonas de cambios de este tipo de áreas.

A partir de este trabajo es posible visualizar el conjunto de características y costos asociados para cada sensor, según la experiencia lograda en el marco del proyecto SIGMA. Cada usuario debe valorar a partir de estos datos la solución más adecuada, en función de sus objetivos, precisiones que se deseen alcanzar, escala de trabajo, costos y medios disponibles.

7. REFERENCIAS

Castro, R. 1996. Manual de Fotogrametría y Fotointerpretación. Pontificia Univ. Católica de Chile. Colección docente. Fac. de Agronomía 236 p.

Hamilton, D. 1981. Large scale color aerial photography as a tool in sampling for mortality rates. USDA For. Serv. res. Pap. INT-269. Utah.

Heller, R. Sader, S. and Miller, W. 1964. Identification of tree species on large scale pancromatic and color aerial photographs. USDA. For. Serv. Agric. Washington DC.

Pons, X. 1992. Aportacions de la Teledetecció i als Sistemes d'informació Geogràfica en estudis de Vegetació. Univ. Autònoma de Barcelona. Tesis Doctoral. 427 p. España.

Sayn W. 1978. Recognition of tree species on aerial photographs. Inf. Rep. FMR-X-118. Canadian Forestry Service, 97 p. Ottawa, Ontario.

SELPER Dictionary, Remote Sensing. Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota, 1989. 219 p.

8. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Ancho de barrido: Ángulo plano total o distancia lineal en terreno cubierta por un barredor multiespectral en la dirección perpendicular al desplazamiento de la plataforma.

Bytes: Término que define un grupo de 8 dígitos binarios (bitios o bit), permite representar una letra o un carácter de un lenguaje que emplea dos clases diferentes, ejemplo: No - Si, Falso - Verdadero, Apagado - Encendido, 1 - 0.

Compact Airbone Spectrographic Imager (CASI): Es un sensor aerotransportado canadiense, óptico y multiespectral, basado en una barra de CCD (dispositivo por acoplamiento de carga) que le permite registrar diferentes longitudes de onda que van desde 430 nm a 950 nm y programar la configuración de las regiones espectrales de acuerdo a los requerimientos del usuario.

Corrección Geométrica: Es un proceso digital de corrección de las imágenes satelitales con el fin de eliminar los sesgos de ubicación espacial de los elementos representados debido a los movimientos del sensor y de la tierra, así como los producidos por el propio diseño orbital. Esto conlleva un remuestreo de la imagen original para adecuarla a un sistema de coordenadas cartográficas conocido.

Corrección Radiométrica: Proceso de ajuste de los datos originales registrados por un sensor con el fin de corregir los sesgos que se introducen por desequilibrado de los detectores o por mal funcionamiento del sistema, por la atmósfera u otras variaciones del medio ambiente. Es un proceso importante para la obtención de información correlacionada con datos biofísicos.

Detector por Acoplamiento de Carga (CCD): Es un dispositivo en el cual los electrones son almacenados en la superficie de un semiconductor arreglado de tal forma que la carga eléctrica a la salida de uno proporciona el estímulo de entrada del otro, dispositivo normalmente utilizado en barredores optoelectrónicos.

Filtros: En fotografía aérea es cualquier material que por absorción o reflexión modifica selectivamente la radiación transmitida a través de un sistema óptico. Los filtros se ubican normalmente entre la lente y el objeto o pueden formar parte de la misma película.

Filtro Digital: Se aplican en procesamiento de imágenes y corresponden a un procedimiento matemático para discriminar los valores de los píxeles en función de la frecuencia espacial asociada.

Formato Digital: Arreglo de datos en una unidad central de procesamiento en formato de bit, bytes o palabras.

Formato de Barrido: Es la porción barrida o iluminada de la pantalla en un tubo de rayos catódicos. Esto se produce por un patrón determinado de líneas de barrido que dan una cobertura uniforme de una área de la tierra.

Multiespectral: Se refiere normalmente a imágenes satelitales o sensores para indicar que se cubre o registra dos o más bandas espectrales del espectro electromagnético, es decir dos o más espacios distintos de longitudes de onda o frecuencias de la energía electromagnética.

Nanómetro (nm): Unidad de longitud igual a un mil millonésimo de metro.

Pixel: Es la contracción de "picture element", corresponde al elemento básico que forma una imagen satelital, definido en un sistema de coordenadas por su posición en filas y columnas, más un valor temático o radiométrico. Representa la superficie mínima que puede registrar un determinado sensor de la superficie terrestre.

Radiancia Espectral (L_λ): Indica la total energía radiada en una determinada longitud de onda por unidad de área y por ángulo sólido de medida.

Raster: Tipo de estructura de datos espacial donde la unidad básica del sistema de almacenamiento de la información es la celda o pixel. Estructura normal de diversos sistemas de información geográfica y única en los sistemas de adquisición y procesamiento de imágenes.

Recubrimiento Longitudinal: Zona común a dos fotografías aéreas consecutivas de una misma línea de vuelo, de un 55 a 65 %.

Recubrimiento o Traslape Lateral: Zona común a dos líneas de vuelo adyacentes de fotografías aéreas, la que es del orden del 10 al 15 %.

Reflectancia: Relación entre la energía radiante reflejada por un cuerpo y la incidente a él. Razón entre irradiancia y radiancia expresada en porcentaje.

Resolución Espectral: Es la capacidad de un sensor remoto para registrar datos en distintas partes o bandas del espectro electromagnético, caracterizando con mayor o menor precisión un determinado fenómeno de la superficie de la tierra.

Resolución Espacial: Capacidad de un sistema de teledetección para registrar una unidad mínima espacial o de distancia de la superficie terrestre. También se puede definir como la mínima distancia entre dos objetos que puede diferenciar en el terreno un sensor, se expresa en metros, metros cuadrados y en radianes.

Resolución Radiométrica: Es la capacidad del sensor para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. En los dispositivos óptico-electrónicos, como son los satélites, la imagen habitualmente se presenta en formato digital. El número máximo de niveles digitales que incluye una imagen, es lo que se identifica como la resolución radiométrica del sensor, lo cual varía de acuerdo a los distintos sensores.

RGB (Red, Green, Blue): Síntesis del color por adición producido por la combinación de tres bandas que se asignan a los tres colores primarios (Rojo, Verde y Azul).

Scanner: Dispositivo para convertir imágenes, mapas, fotografías de formato análogo a digital o numerizado de forma automática.

Sensor: Cualquier dispositivo que registra radiación electromagnética u otro tipo de energía y la presenta de forma apropiada para decodificarla y obtener información útil.

SIGMA: Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura, creado en el marco del proyecto de modernización y de apoyo a las instituciones públicas.

Sistema de Posicionamiento Global por Satélite (GPS): Corresponde a una constelación de satélites norteamericanos y rusos que permiten, mediante un receptor de la señal, ubicar un punto de la tierra en coordenadas x, y, z, con precisiones altamente confiables, permiten de igual forma la navegación marítima y el tránsito aéreo.

SPOT -Système Probatoire D'Observation de la Terre: Proyecto de teledetección espacial del gobierno francés en colaboración con Bélgica y Suecia. El proyecto mantiene en órbita un satélite con sensores de exploración por empuje denominados HRV (Haute Resolution Visible).

Textura: En una fotografía aérea corresponde a la frecuencia y disposición de los cambios tonales registrados en la emulsión. En las imágenes, estos cambios son dados por los valores de los píxeles. La textura se puede clasificar en gruesa, media y fina.

Universal Transversal Mercator (UTM): Proyección cartográfica para representar la tierra basada en un sistema de coordenadas rectangulares que tienen su origen un meridiano central (según huso que corresponda, existen 60) y en el Ecuador. Para Chile los husos corresponden al 18 y 19.

Vector: Estructura de almacenamiento de datos en sistemas de información geográfica que representan la información como vectores, cuyos elementos básicos son los puntos, las líneas y los polígonos. Es un sistema que define las distintas unidades temáticas por las coordenadas de sus bordes. En general los elementos geográficos se representan como una serie de coordenadas x , y o x , y , z .