

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I O N  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente

EVALUACION DE UN METODO PARA LA GENERACION DE PLANOS CON  
FOTOGRAFIAS AEREAS DIGITALES.



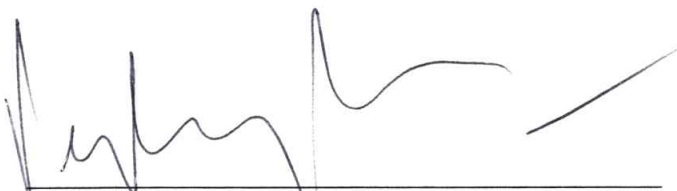
MEMORIA PARA OPTAR  
AL TITULO DE  
INGENIERO FORESTAL.

CONCEPCION-CHILE

2001

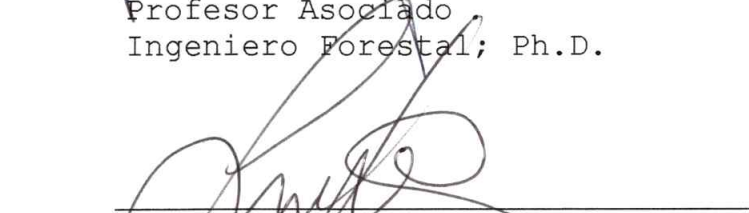
EVALUACIÓN DE UN METODO PARA LA GENERACIÓN DE PLANOS CON  
FOTOGRAFÍAS AÉREAS DIGITALES

Profesor Asesor



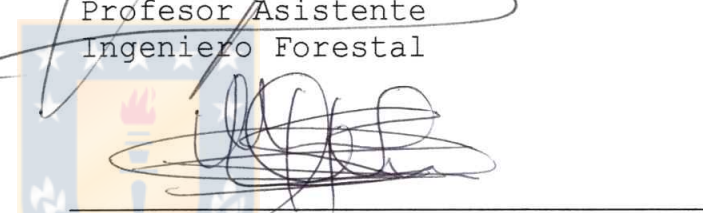
Pedro Real Hermosilla  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal; Ph.D.

Profesor Asesor



Julio Becker Guaiquil  
Profesor Asistente  
Ingeniero Forestal

Director Departamento  
Manejo de Bosque y  
Medio Ambiente



Manuel Lineros Parra  
Profesor Asistente  
Ingeniero Forestal; M.Sc.

Decano Facultad de  
Ciencias Forestales



Fernando Drake Aranda  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal

Calificación de la memoria de título:

Pedro Real H. : 91 puntos (noventa y un puntos)  
Julio Becker G. : 91 puntos (noventa y un puntos)

## INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA
I	INTRODUCCION.....1
II	MATERIAL Y METODO.....15
	2.1 Material.....15
	2.1.1 Captura de datos GPS.....15
	2.1.2 Generación Geofoto.....16
	2.2 Método.....17
	2.2.1 Areas de estudio.....17
	2.2.2 Determinación de puntos de control GPS.....18
	2.2.3 Determinación de polígonos de control....19
	2.2.4 Digitalización de las fotografías aéreas.....21
	2.2.5 Levantamiento con GPS.....21
	2.2.6 Georreferenciación de las fotografías aéreas digitales.....25

## CAPITULOS

## PAGINA

2.2.7	Digitalización en pantalla de los polígonos levantados con GPS.....	25
2.2.8	Análisis estadístico.....	26
2.2.8.1	Análisis estadístico para los Bloques..	26
2.2.8.2	Análisis estadístico para los Tratamientos.....	27
III	RESULTADOS Y DISCUSION.....	29
3.1	Diferencias observadas entre GPS (base) y transferencia digital.....	29
3.1.1	Resultados zona plana (Concepción).....	29
3.1.1.1	Resultados con 4 puntos de Control.....	29
3.1.1.2	Resultados con 8 puntos de Control.....	31
3.1.2	Resultados zona Abruapta (Fundo Escuadrón).....	32
3.1.2.1	Resultados con 4 puntos de Control.....	32
3.1.2.2	Resultados con 8 puntos de Control.....	33

CAPITULOS	PAGINA
3.2 Análisis Estadístico.....	34
3.2.1 Análisis de Varianza para bloques.....	34
3.2.2 Análisis de Varianza para Tratamientos...35	
3.2.2.1 Análisis para la zona plana (Concepción).....	35
3.2.2.2 Análisis para la zona Abruapta (Escuadrón).....	36
IV CONCLUSIONES.....	38
V RESUMEN.....	39
VI SUMMARY.....	40
VII BIBLIOGRFIA.....	41

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1. GPS Pro XR.....	16
2. Colector de datos TDC1.....	16
3. Foto Concepción.....	17
4. Foto Escuadrón.....	17
5. Fotografía aérea de Concepción mostrando la posición de 8 puntos de control.....	18
6. Fotografía aérea de Escuadrón mostrando la posición de 8 puntos de control.....	19
7. Polígonos Irregulares Escuadrón.....	20
8. Polígonos Regulares Escuadrón.....	20
9. Polígonos Regulares e Irregulares en Concepción.....	20
10. Levantamiento con GPS a pie.....	24
11. Levantamiento con GPS en vehículo.....	24

## INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1. Configuración del equipo GPS.....	22
2. Resultados de la Geofoto producida por 4 ptos de control en Concepción (zona plana),.....	30
3. Resultados de la Geofoto producida por 8 ptos de control en Concepción (zona plana),.....	31
4. Resultados de la Geofoto producida por 4 ptos de control (zona abrupta).....	32
5. Resultados de la Geofoto producida por 8 ptos de control (zona abrupta).....	33
6. Tabla Anova para Bloques al azar.....	35
7. Tabla Anova para la zona plana (Concepción).....	36
8. Tabla Anova para la zona Abrupta.....	36

## I INTRODUCCION

El ser humano ha tenido desde siempre interés en representar lo que lo rodea, especialmente su medio ambiente. La forma de representarlo puede ser simple y elemental como cuando se habla de relaciones básicas, tales como cerca, lejos, dentro, fuera, o complejas cuando se consideran elementos mucho más abstractos, tales como contaminación, distribución de población por edad, etc.

En muchas actividades en las que participa el hombre diariamente, se hace necesaria la utilización de la variable espacio, es muy probable que una importante cantidad de profesionales de distintas áreas, en algún momento tenga que tomar decisiones apoyado por cartografía de tipo vial, topográfica o temática. Esto se da mucho en el ámbito forestal para el tema de los planes de manejo, las bonificaciones por el decreto de ley 701, las declaraciones de terrenos de aptitud preferentemente forestal, entre otras.

La Cartografía es una forma eficaz para manipular, analizar, exponer y expresar ideas, formas y relaciones que tienen lugar en un espacio bi o tridimensional.

El conocimiento del espacio y su representación se remonta a la historia más antigua del hombre, donde se usaron voces y dibujos que sirvieron para la creación de imágenes mentales relacionadas con el espacio y los objetos circunscritos a él. Seguramente esas voces y dibujos evolucionaron hasta el lenguaje y grafismos que se utilizan hoy en día.



A fines del siglo XX la cartografía ocupa un lugar de importancia dentro de las denominadas Ciencias de la Tierra, lo que se explica en parte por el vertiginoso desarrollo de las técnicas y herramientas para lograr una buena representación gráfica del espacio y sus fenómenos asociados, así como también, el aumento en la precisión de los trabajos de campo, lo que sumado a las nuevas técnicas de percepción remota y los nuevos sensores abren perspectivas de alcances imprevisibles.

Los cartógrafos comenzaron a interesarse por las posibilidades de la electrónica a principios de la década de los 50. Cuando se piensa en la cartografía asistida por computadores, la cual no tiene más de 30 años de antigüedad, no obstante sus efectos sobre la cartografía han sido revolucionarios. Se ha inventado e implementado una tecnología completamente nueva, la que en un principio se centró en la realización mecánica de muchas labores que antiguamente se realizaban a mano, pero hoy en día se ha abierto un mundo de posibilidades a lo que se denomina Cartografía Automatizada. Esta cartografía no sólo permite generar mapas, sino que además, se ha transformado en una poderosa herramienta para el manejo de grandes volúmenes de datos geográficamente referenciados, almacenados en bases de datos, las cuales pueden ser editadas, actualizadas y/o transformadas en forma rápida y precisa para la generación de nueva cartografía o actualización de cartografía existente.

Cualquiera sea el tema o actividad donde se deba usar cartografía, es de mucha importancia considerar el grado de actualización y precisión del material cartográfico. Se

puede citar el caso forestal, donde el tema de interés es el tipo de cobertura vegetal que se encuentra en un determinado lugar, se sabe que este tipo de información sufre cambios significativos a lo largo del tiempo llegando a ser necesario realizar actualizaciones cartográficas diarias. Barth H (1991).

Muchas empresas por sus actividades orientadas al manejo y uso de recursos naturales renovables y no renovables, en ausencia de cartografía acorde con sus necesidades, se han visto en la obligación de generar cartografía propia, asumiendo el costo que este tipo de actividad involucra.

Actualmente, la Cartografía se encuentra en una etapa de transición, ya que los cambios a que se ve enfrentada, como los de orden tecnológico son rápidos, y los profesionales deben aprender como realizar nuevas tareas con nuevas herramientas, además, también deben aprender como realizar antiguas tareas utilizando los nuevos equipos.

La generación de Cartografía en la actualidad se ha simplificado en cuanto a los procesos, por lo que los profesionales deben asimilar rápidamente las nuevas tecnologías, pero es necesario no confundir, ya que la importancia relativa a la Cartografía, como ciencia, dice relación no sólo con los avances técnicos, sino con, la correcta interpretación de los requerimientos específicos que se exigen actualmente, para generar un producto que cumpla con todos los requerimiento del usuario actual. Núñez et al (1992).

La cartografía es una herramienta fundamental en las actividades que involucra el manejo forestal. Las condiciones cambiantes del terreno, provocadas por agentes de origen artificial o natural, hacen que la toma de decisiones para una empresa forestal, sea más eficiente si se dispone de información cartográfica exacta y actualizada. Esto se logra manejando la información de tipo gráfica junto con la alfanumérica en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Numerosas empresas tienen un programa regular para mantener un calendario de actividades que incorpora el uso de planos, que con frecuencia son actualizados a partir de fotografías aéreas de formato pequeño y un instrumento rectificador como el Scketchmaster. Castro (1996).

Por la naturaleza subjetiva en los procesos de traspaso y revisión de la información, hay una necesidad de implementar métodos más objetivos. Una herramienta que está siendo considerada para la adquisición de datos precisamente georreferenciados de información descriptiva, son los software de georreferenciación de imágenes que pueden también utilizarse para la referenciación de fotografías aéreas del tipo no métricas. López Cuervo (1980)

La utilización de estos softwares de georreferenciación, en un nivel operativo no se ha generalizado en las empresas. Aún cuando, se visualiza un amplio campo de aplicaciones, su uso se ha postergado en espera de investigaciones que demuestren la superioridad de ésta tecnología sobre las tradicionales en uso, se estudie la

eficiencia y exactitud envolviendo una gran variedad de factores para las condiciones locales y además se prueben alternativas de equipamiento y pueda complementarse con la captura de datos a partir de GPS. Hurn (1989).

El sistema GPS o Sistema de Posicionamiento Global, nació en Estados Unidos con el objetivo de mejorar su anterior sistema militar de satélites de navegación, denominado TRANSIT, disponible desde 1967 y muy usado en técnicas geodésicas en todo el mundo. De esta forma se pretendía conseguir una navegación en tiempo real, precisa y de forma continua en tierra, mar o aire, sin importar las condiciones meteorológicas y bajo un sistema unificado de cobertura global con precisiones de unos pocos metros en coordenadas.

Una vez consolidado militarmente, sus enormes aplicaciones pasaron al sector comercial, que rápidamente y aprovechando que se obtiene un posicionamiento en tiempo real, inició su uso y divulgación entre la comunidad científica. López (1992).

El Sistema de Posicionamiento Global está constituido por tres segmentos bien diferenciados, los cuales serán descritos a continuación:

El **segmento espacial**, que comprende la constelación de satélites denominada NAVSTAR (conjunto y tipo de satélites utilizados), la cual está formada por 24 de éstos, de los cuales por lo menos 4 serán visibles al mismo tiempo, a cualquier hora y desde cualquier punto de la superficie terrestre. Estos satélites se encuentran a una altitud

aproximada de 20200 Km y con un periodo orbital de 12 horas.

**Segmento de control**, constituido por cinco estaciones de control repartidas alrededor del mundo y con coordenadas muy precisas. Todas ellas reciben continuamente las señales GPS. Todos estos datos se transmiten a la estación principal situada en Colorado Spring (USA) en donde se procesa la información, obteniendo de esta manera todas las posiciones de los satélites en sus órbitas y los estados de los relojes que llevan cada uno de ellos para que con posterioridad los mismos satélites radiodifundan dicha información a los usuarios potenciales.

Por último, **segmento utilitario**, el cual está formado por todos los equipos utilizados para la recepción de las señales emitidas por los satélites, así como por el software necesario para la comunicación del receptor con el ordenador y el postprocesado de la información para la obtención de los resultados.

Podemos considerar el "equipo GPS" compuesto por tres unidades principales: el receptor propiamente dicho, la antena y los accesorios.

#### **Fuentes de error:**

Al visualizar la información que nos muestra el receptor, se deben considerar una serie de parámetros que van a condicionar las precisiones que podamos obtener. Estas son:

El **tiempo**; tanto los satélites como los receptores tienen relojes que miden el tiempo exacto de emisión y recepción.

El problema surge cuando estos relojes no están sincronizados, de tal manera que un microsegundo de desfase se traduce en un error de 300 metros en la medición de la distancia.

La **ionosfera**, región de la atmósfera situada entre 50 y 1000 Km aproximadamente sobre la superficie de la tierra, donde los rayos ultravioletas procedentes del sol ionizan las moléculas de gas que ahí se encuentran, liberando electrones, produciéndose una dispersión no lineal en las ondas electromagnéticas enviadas por los satélites, de manera que cada onda se desacelera en un ritmo inversamente proporcional al cuadrado de su frecuencia.

La manera utilizada para eliminar esta fuente de error es comparar la información que recibimos, con 2 receptores lo suficientemente próximos entre sí, afectando dicha perturbación a los dos por igual y pudiéndola despreciar.

La **troposfera**. Estos errores se cometen cuando se produce una refracción de las ondas según las distintas condiciones meteorológicas de temperatura, presión y humedad relativa del aire que encuentre a su paso. Para eliminar dichos errores se aplican diversos modelos troposféricos ya establecidos.

Las **efemérides** de los satélites se pueden leer en cada uno de los mensajes de navegación de éstos. Dicha lectura, se realiza en las estaciones del segmento de control, entre la que cabe destacar:

- Influencia del campo magnético terrestre.
- Parámetros sobre la presión de la radiación solar.

- Posibles fallos de los relojes atómicos.
- Operatividad de cada uno de los satélites.
- Posición estimada para cada uno de los satélites dentro de la constelación global, etc.

Los errores generados por las efemérides tienen un efecto relativamente pequeño, fácilmente compensable.

Por último, cabe destacar, el **efecto multicamino** que se produce cuando la onda sufre desviaciones, reflexiones, choques contra objetos reflectantes en su camino hacia la antena.

Para reducir este efecto se requiere disponer de antenas con planos de tierra y sobre todo poner un especial cuidado en el emplazamiento de la misma. August, P (1994).

#### **Geometría de la observación:**

Existen tres factores principales que condicionarán la precisión definitiva con la que observamos un punto con GPS:

- a) CONFIGURACION GEOMETRICA DE LOS SATELITES: DOP (Dilution Of Precision), ratio entre la incertidumbre de precisión y la de distancia.

Existen diferentes dop's dependiendo de la posición que se esté tratando en cada momento, los más comunes son:

- VDOP, Incertidumbre en altura (vertical).
- HDOP, Incertidumbre 2D (horizontal).
- PDOP, Incertidumbre 3D.
- TDOP, Incertidumbre en tiempo.
- HTDOP, Incertidumbre en horizontal y de tiempo.

- GDOP, Incertidumbre 3D y de tiempo.
  
- b) OBSERVABLE CONSIDERADO (pseudodistancias o fase portadora).
  
- c) GRADO DE INCERTIDUMBRE EN LA POSICION (englobando todas las fuentes de error vistas hasta el momento).

### **Sistemas de medidas**

El GPS es un sistema que permite hacer posicionamientos por medición o variación de distancias, entre las antenas emisoras de los satélites y la receptora del equipo. Existen dos posibilidades principales de funcionamiento:

El método de **Pseudodistancias**, es propio de la técnica GPS. Se define como el desplazamiento temporal necesario para igualar una réplica del código GPS, generado en el receptor, con la señal procedente del satélite y multiplicado por la velocidad de la luz. Por tanto, el observable es un tiempo.

El satélite emite uno de los códigos, el receptor tiene en su memoria la estructura de dicho código y genera una réplica exacta, modulando la señal recibida con la réplica inversa del código.

Si ambos códigos están sincronizados, el código desaparecerá, dejando a la portadora limpia. Para sincronizar la réplica con el original recibido, el instrumento empieza a aplicar un retardo hasta que la anulación se produce. El tiempo del retardo nos permite calcular una distancia que no será precisamente la



existente, ya que no conocemos el estado del reloj del receptor, de ahí que el valor hallado no sea una distancia sino una pseudodistancia.

El método de **medidas de fase** es el que permite obtener mayor precisión. Parte 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 esta emisión llega a la antena, su recorrido corresponde a un número entero de longitudes de onda (denominado  $N$  o ambigüedad), más una cierta parte de longitud de onda cuyo observable (o momento exacto de recepción por parte de la antena) puede variar entre  $0$  y  $360^\circ$ . La resolución de la ambigüedad se realiza en base a un extenso proceso de cálculo, que además nos resolverá el estado de los relojes y por supuesto los incrementos de coordenadas entre estaciones. Una vez obtenidos dichos valores, la resolución interna que nos proporcione el sistema, será de orden submilimétrico, siempre en función de las técnicas de observación empleadas.

Debe destacarse que es fundamental 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 cuenta de ciclos se rompe (Cycle Slip), perdiendo este método toda su eficacia. Esta pérdida de ciclos puede ocurrir por muchas causas desde el paso de un avión, disturbios ionosféricos, u obstrucciones físicas importantes (edificios, etc.). Podremos comprender, entonces, la dificultad de trabajar en zonas próximas a

arbolados, tendidos eléctricos, torres, edificios, etc., limitando las aplicaciones de éste método en tiempo real.

### **Método de posicionamiento:**

Existen tres métodos principales de posicionamiento aplicados en Topografía y Geodesia, los que requieren disponer de equipo GPS, formado por 2 receptores de 1 frecuencia L1, código C/A, 12 canales de recepción y el instrumental auxiliar necesario, es decir, trípodes, bases nivelantes, señalizadores, etc. Los métodos son:

### **Estático relativo:**

Se trata de dos o más receptores que se estacionan y observan durante un período mínimo de media hora (o más), según la redundancia y precisión, y en función de la configuración de la constelación local. El único requisito importante, es que uno de los receptores debe estar situado en un punto de coordenadas conocidas.

Los resultados obtenidos pueden alcanzar precisiones muy altas, teóricamente hasta niveles milimétricos.

Existe una variante denominada **estático rápido**, pero es sólo utilizable con receptores de doble frecuencia L1 y L2, y que pueden recibir información tanto del código C/A, como del código P. De esta forma se reducen los períodos de observación hasta 5 o 10 minutos por estación, manteniendo los mismos órdenes de precisión que para el método Estático. En la práctica, son el Estático y el Estático rápido, los métodos de trabajo más utilizados.

**Cinemático relativo:**

Consiste en la determinación de tríos de coordenadas respecto al punto fijo de forma rápida, aunque menos precisa que con el método anterior. Se eligen dos puntos fundamentales: el de referencia y el de cierre. Con los demás puntos se configura un itinerario o poligonal con inicio y final en el cierre. El tiempo de observación por punto puede oscilar entre 1 y 2 minutos, y la precisión máxima a obtener estaría entorno a los 10-20 cm.

**Pseudocinematico relativo:**

Requiere un receptor estacionado en un punto conocido y otro observando en otros puntos por al menos dos periodos de unos 5 minutos, separados por otro más largo del orden de 1 hora.

La variación de los satélites durante este período intermedio, equivale a haber utilizado una constelación de observación más nutrida. Tiene la ventaja añadida de poner más fácil de manifiesto el efecto de fuentes de error de lenta evolución López (1992)

**Planificación de las observaciones:**

El almanaque, que va incluido en el mensaje recibido por el receptor, nos da la información necesaria de las órbitas de toda la constelación de satélites, que nos permite predecir dónde y cuándo estará cada satélite. Disponemos de un software específico para, una vez introducido el almanaque, poder planificar nuestro trabajo en campo; este software nos proporciona la siguiente información:

- Número de satélites observables desde nuestra posición para cada hora del día.

- Valores del DOP, máximos y mínimos, en el momento del día seleccionado.
- Poder introducir las posibles obstrucciones a la recepción de información y ver de qué manera nos afectan.
- Generación de diversas gráficas de posición de los satélites en el espacio.
- Visualización instantánea de la operatividad de todos los satélites.
- Edición y gestión de toda la información vista para sesiones de trabajo determinadas. Hurn, J. (1989).

#### **Aplicaciones:**

Estas nos dejan claro el enorme potencial presente y futuro del GPS:

- Control de deformaciones terrestres.
- Posicionamiento de cámaras de fotogrametría.
- Determinación y localización de cualquier tipo de obra.
- Estudio de evolución de cuencas fluviales.
- Actualización de Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Situación continua e instantánea de los vehículos sobre cartografía digital.
- Navegación en tiempo real con gran precisión.
- Determinación de dirección, velocidad y aceleración de cualquier vehículo.
- Guiado de vehículos sobre trayectorias prefijadas.
- Localización y control de flotas de vehículos.

Este estudio tiene como propósito describir y evaluar la metodología de uso de una herramienta para la actualización de información cartográfica. A través de Georreferenciación de fotografías aéreas no métricas, y su posterior digitalización en pantalla para la obtención de un plano con la información requerida.

Determinar si existe diferencia en la precisión de producción de la cartografía entre un terreno plano y uno con fuertes pendientes.

Determinar el número de puntos de control óptimo para cada tipo de terreno.

Determinar comparativamente la exactitud de la información obtenida con el levantamiento GPS con la obtenida digitalizando en pantalla con un programa de manejo de datos SIG-Arc-View.



## II MATERIAL Y METODO

### 2.1 Material.

El material utilizado en este trabajo se separó en material de campo para la captura de datos GPS y materiales de oficina para el post proceso de los datos y de las fotos.

**2.1.1 Captura de datos GPS.** La captura de datos fue realizada con un equipo GPS, marca Trimble específicamente el modelo Pro XR. Una fotografía de este equipo más el capturador de datos TDC1 se muestra en la Figura 1 y en la Figura 2. Las principales características del equipo son las que se explican a continuación.

- Doce canales doble frecuencia (L1/L2).
- Precisión de 1 ppm (una parte por millón) en coordenada y 5 ppm en cota.
- Colector de datos TDC1 de 4 MB de memoria.(ver figura 2)
- Software de procesamiento datos GPS Pathfinder Office de Trimble.
- Un computador Pentium II 350 Mhz 128 RAM y 6GB de disco duro.



Figura 1. GPS Pro XR



Figura 2. Colector de datos  
TDC1

**2.1.2 Generación Geofoto.** La generación de geofotos considera el material fotográfico, el hardware, y el software necesario para realizar la Georreferenciación. Material que a continuación se detalla:

- 2 fotografías aéreas 1 para cada zona en estudio
- Scanner 1024 dpi
- Software de procesamiento de imágenes IMAGE ANALISIS DE ARC VIEW.
- Computador Pentium II de 128 RAM y 4GB de disco duro
- Impresora color de calidad fotográfica 720 x 720 dpi
- Puntos de control G.P.S.

## 2.2 Método

**2.2.1 Áreas de estudio.** Se eligieron dos áreas para evaluar si existía diferencia al trabajar en lugares con distintas condiciones topográficas. Estas dos zonas de estudio debían tener características topográficas diferentes. Una corresponde a terreno de topografía plana y la otra a terreno con fuertes pendientes. Para el terreno plano se eligió una parte del Barrio Universitario del cual se obtuvo una fotografía escala 1:5000, la que se puede observar en la Figura 3. Para el sector con pendiente fuerte se eligió una foto del fundo Escudrón. De este sector también se consiguió una fotografía escala 1:10.000 que se puede apreciar en la Figura 4.



Figura 3. Foto Concepción.

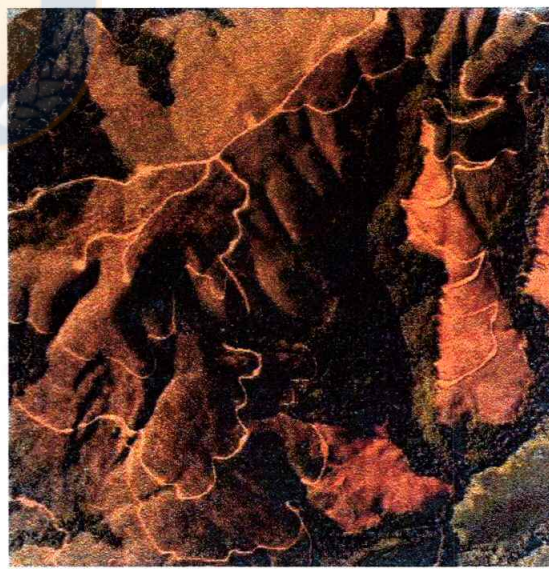


Figura 4. Foto Escudrón



**2.2.2 Determinación de puntos de control GPS.** En cada fotografía se eligió 8 puntos de control con las siguientes características: ser fácilmente reconocibles en terreno y en la foto, ellos correspondían mayoritariamente a esquinas de canchas de madereo, intersección de calles y caminos, etc.

Por otra parte esta selección consideró el arreglo o distribución de los puntos de control. Esta distribución debía ser lo más homogénea posible, para poder lograr esto se ubicaron los puntos de control en partes representativas de las fotos. La ubicación de estos puntos de control en cada una de sus respectivas zonas se puede ver en las Figuras 5 y 6.

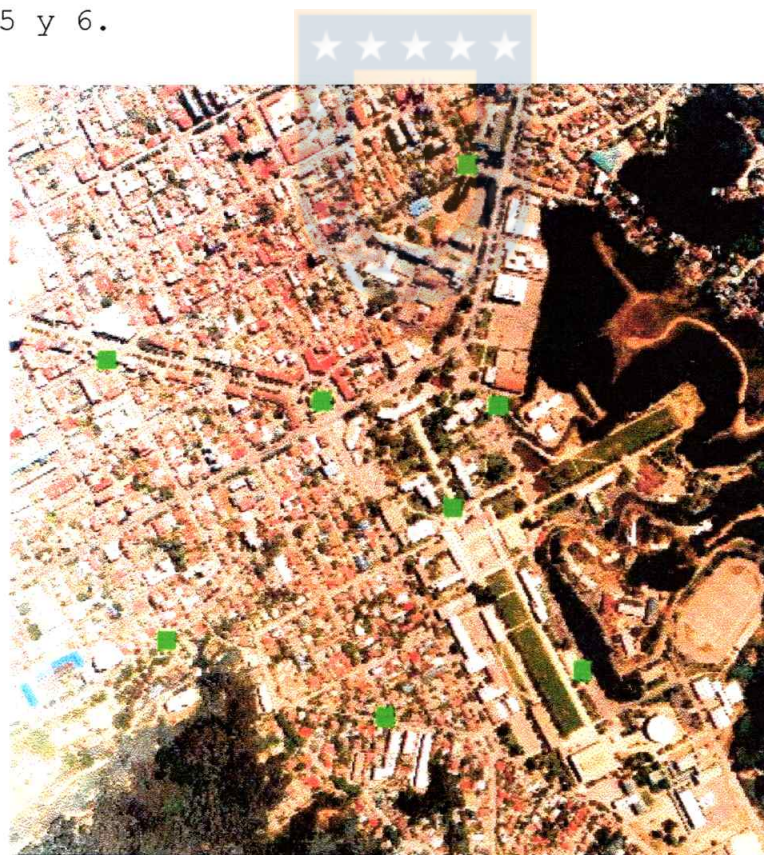


Figura 5. Fotografía aérea de Concepción mostrando la posición de 8 puntos de Control.

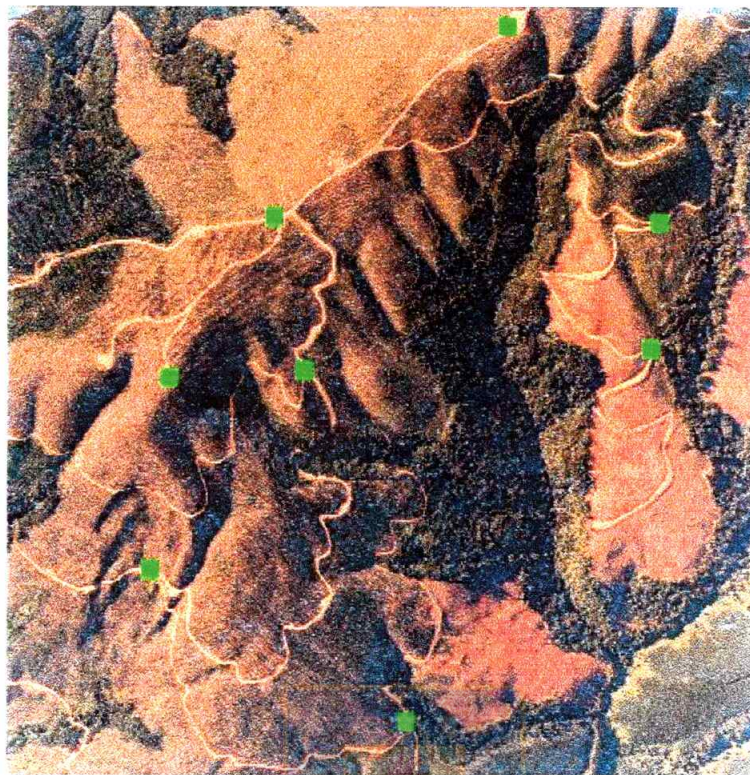


Figura 6. Fotografía aérea de Escuadrón mostrando la posición de 8 puntos de control.

**2.2.3 Determinación de polígonos de control.** Dentro de las áreas de estudio se ubicaron polígonos, los que fueron visitados en terreno para verificar su factibilidad de replanteo terrestre y su total identificación en terreno. En esta visita se llevó un plano de la zona además de las fotografías aéreas correspondientes. Para un mejor control posterior, se eligieron polígonos bien definidos por caminos, bosque nativo y otros objetos de fácil identificación en terreno. En cada zona se delimitaron 10 polígonos los que después fueron medidos con GPS.

De esos 10 polígonos 5 fueron seleccionados con la característica de poseer una forma geométrica bien definida

y 5 con la cualidad de poseer un contorno irregular. La distribución de los polígonos ubicados en el fundo Escuadrón se pueden apreciar en las figuras 7 y 8. Por otro lado la ubicación de los polígonos en la zona plana es decir el Barrio Universitario se puede ver en la figura 9.



Figura 7.  
Polígonos Irregulares  
Escuadrón.

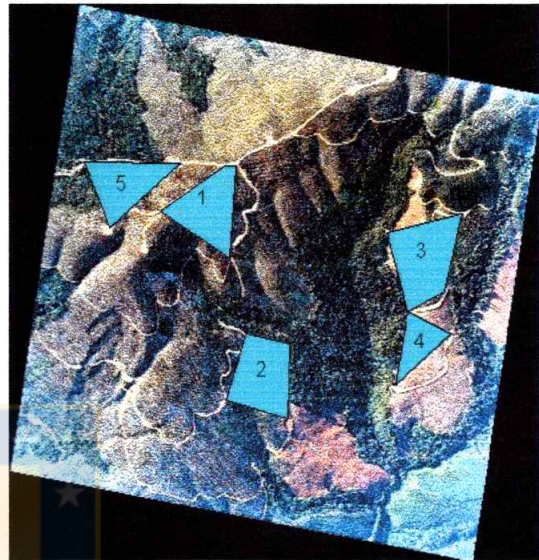


Figura 8.  
Polígonos Regulares  
Escuadrón.

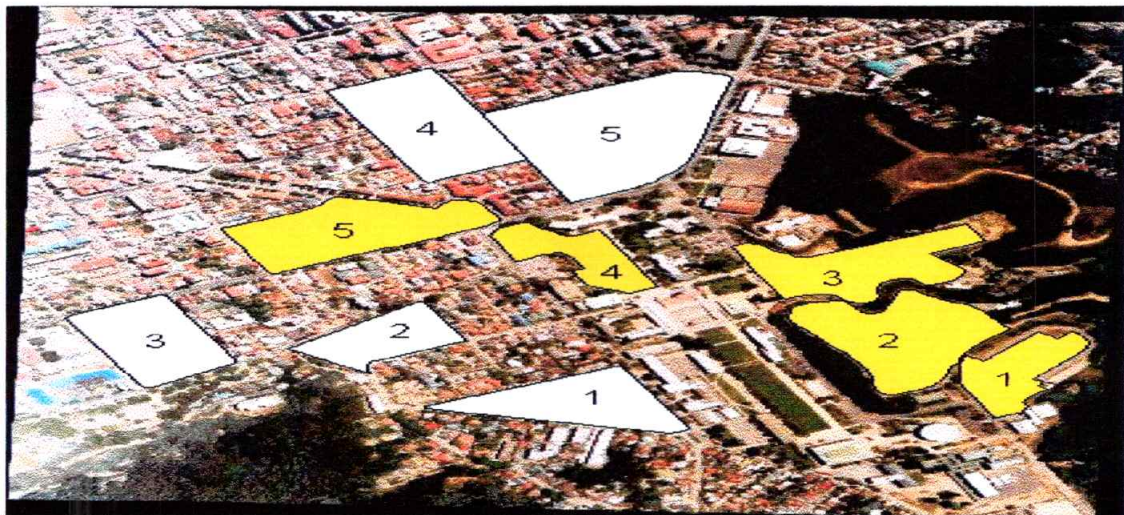


Figura 9. Polígonos Regulares e Irregulares en Concepción.

**2.2.4 Digitalización de las fotografías aéreas.** La digitalización de las fotos se realizó con un scanner. En la realización de esta actividad se hicieron varias pruebas a objeto de fijar la mínima resolución apta para poder determinar con claridad la ubicación de los puntos de control y los polígonos levantados con G.P.S. Barth, H.P (1991)

Esta resolución mínima se fijó también en función de la factibilidad de manipular y desplegar la fotografía digital obtenida. A la foto se le realizó también un ajuste en el brillo y contraste de colores a fin de obtener una mejor identificación de los atributos presentes. La resolución elegida fue de 300 d.p.i.

**2.2.5 Levantamiento con G.P.S.** En esta tarea fue necesario planificar adecuadamente el trabajo de terreno, ya que el costo horario del equipo es elevado. Primero se debe definir qué tipo de atributos se van a registrar, que pueden ser: puntos, líneas o polígonos. Definido esto, se debe verificar la disponibilidad de satélites que habrá al momento de la toma de datos en terreno, esta tarea se realiza en la opción de Almanaque del Software Pathfinder Office.

Cumplida esta etapa se procede a la obtención de datos en terreno. Esta obtención de datos se puede llevar a cabo a pie como lo muestra la Figura 10 o por medio de un vehículo como se puede ver en la Figura 11. Para ello, es necesario definir algunos parámetros propios del equipo, lo que se logra a través de opciones configurables, siendo los parámetros más importantes el PDOP, el intervalo con el

cual se toman los datos aparte del ángulo de captura de la antena.

La configuración del Rover Pro XR utilizada para este estudio se puede visualizar en la Tabla 1.

Tabla 1. Configuración del equipo GPS.

<b><u>G.P.S Rover</u></b>	
Punto	1 segundo
Línea / Área	1 segundo
Not in Feature	none
Velocity	none
<u>Minimum posn</u>	3
<b><u>Carrier Phase:</u></b>	
Minimum Time	10 minutos
Position Mode	Manual 3D
Elevation Mask	15°
SNR Mask	6.0
PDOP Mask	6.0
PDOP Switsh	6.0
Dinamic Code	Land
Audible click	Yes

La configuración descrita en la tabla entrega una precisión de 50 cm o mejor con un postprocesamiento de los datos es decir realizando una corrección diferencial.

Los puntos de control terrestre son clave en este estudio ya que las coordenadas que se obtengan servirán

posteriormente de amarre para las fotografías aéreas en cuestión.

La información de campo se procesó con el Software Pathfinder Office. Los puntos fueron medidos en los lugares previamente determinados, posicionándose el equipo por un intervalo de 15 min. o sea 900 ptos. en cada lugar. Esta modalidad permite generar un promedio de todos los puntos capturados y así obtener una mayor precisión en la coordenada determinada.

Después de tomados los datos se realiza un postproceso llamado corrección diferencial, el cual elimina errores que pueda poseer la señal.

Para el levantamiento de los polígonos se debió recorrer a pié como lo muestra la Figura numero 10 con el equipo GPS cada uno de los 20 polígonos determinados en cada zona de estudio Esta tarea también se puede realizar con un vehículo como lo muestra la Figura 11. En esta etapa se tuvo especial cuidado en determinar los límites del polígono, ya que en un paso posterior la información debía ser replicada.



Figura 10. Levantamiento con GPS a pie.



Figura 11. Levantamiento con GPS en vehículo.

**2.2.6 Georreferenciación de las fotografías aéreas digitales.** Esta etapa del estudio se realizó por medio de una extensión del programa Arc-View llamada Image Análisis, la que permite georreferenciar fotografías con respecto a capas vectoriales o puntos. En este caso particular, se referenciaron las fotos digitales con los puntos de control GPS previamente obtenidos. Este proceso debió ser realizado 2 veces para cada foto una con 4 puntos de control y otra con 8 puntos de control en cada foto. Luego de esto la fotografía aérea en formato digital queda georreferenciada y se transforma en una Geofoto sobre la cual se pueden realizar mediciones de distancias y de superficies además de ubicar puntos con una correcta ubicación geográfica.

**2.2.7 Digitalización en pantalla de los polígonos levantados con GPS** Se representaron los polígonos previamente levantados con GPS en un programa manejador de datos Gráficos y Alfanuméricos llamado Arc-View. Se debió tener especial cuidado en que los límites de los polígonos fueran los mismos que los tomados con GPS. Posteriormente se calculó el área y el perímetro a esos polígonos. En cada una de las 4 Geofotos se debió digitalizar 10 polígonos, 5 de forma regular y 5 con el borde irregular.



**2.2.8 Análisis estadístico.** Para una mejor comparación de los resultados se procedió a realizar el análisis de varianza para un diseño por bloques completamente al azar. Si como resultado del análisis se obtuviera que existen diferencias significativas entre los bloques, se tomará cada bloque individualmente como un análisis completamente al azar, para ver si existe diferencia significativa entre los tratamientos dentro de los respectivos bloques. Wayne, D (1991).

**2.2.8.1 Análisis Estadístico para los Bloques.** A continuación se describirá el diseño en la Tabla.

Tratamientos aplicados en cada Bloque.

**Tratamientos**

<b>Bloques</b>	R4	I4	R8	I8
Plano	5 repet.	5 repet.	5 repet.	5 repet.
Pendiente	5 repet.	5 repet.	5 repet.	5 repet.

R4 = Polígono regular, referenciación con 4 ptos de control.

I4 = Polígono Irregular, referenciación con 4 ptos de control.

El modelo para el diseño por bloques completamente al azar es el que se explica a continuación.

$$X_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + e_{ij}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n =$  bloques.

$j = 1, 2, 3, \dots, k =$  tratamientos.

$X_{ij}$  = es un valor típico de la población total.

$\mu$  = es una constante desconocida.

$\beta_i$  = representa un efecto del bloque que refleja el hecho que la unidad experimental pertenece en el  $i$ -ésimo bloque.

$\tau_j$  = representa un efecto del tratamiento, refleja el hecho de que la unidad recibió el  $j$ -ésimo tratamiento.

$e_{ij}$  = es un componente residual que representa todos los errores.

Las Hipótesis que se barajan en este método son las siguientes:

$$H_0: \tau_j = 0$$

$$H_A: \text{no todos los } \tau_j=0$$



**2.2.8.2 Análisis Estadístico para los Tratamientos.** El modelo utilizado en este tipo de diseño se explica a continuación:

$$X_{ij} = \mu + \tau_j + e_{ij}$$

$X_{ij}$  = es la  $i$ -ésima posición que recibe el  $j$ -ésimo tratamiento.

$\mu$  = la gran media.

$\tau_j$  = es una medida del efecto del  $j$  tratamiento.

$e_{ij}$  = es la cantidad en la cual difiere un valor de la media de su grupo.

Las Hipótesis que se aprueban o se rechazan en este diseño son las que siguen:

$$H_0: \tau_j = 0 \quad j = 1, 2$$

$H_A$ : no todos los  $\tau_j=0$



### **III RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos en el estudio de la comparación entre la producción de cartografía con tecnología GPS y la elaboración de la misma mediante técnicas fotogramétricas que usan fotografías digitalizadas.

#### **3.1 Diferencias observadas entre GPS (base) y transferencia digital.**

Estas diferencias serán observadas comparando las 2 zonas mencionadas en la metodología, además de comprobar si existe diferencia entre las Geofotos construidas con 4 y 8 puntos de control GPS.

##### **3.1.1 Resultados zona plana (Concepción).**

**3.1.1.1 Resultados con 4 puntos de Control.** En la tabla 2, se muestran los resultados obtenidos al digitalizar los polígonos regulares e irregulares en una Geofoto realizada con 4 puntos de control. Además, se puede observar la diferencia que existe entre el polígono levantado con GPS (Real) y los que fueron digitalizados en pantalla mediante el Arc-View.

Tabla 2. Resultados de la Geofoto producida con 4 puntos de control en Concepción (zona plana).

POLIGONOS REGULARES				
N° POLIGONO	GPS (Ha)	Transferencia DIGITAL (Ha)	Diferencia	% GPS
1	2,49	2,39	0,1	4,02
2	1,59	1,62	0,03	1,89
3	2,37	2,39	0,02	0,84
4	3,26	3,26	0	0,00
5	5,45	5,31	0,14	2,57
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,032</b>	<b>2,994</b>	<b>0,058</b>	<b>1,86</b>
POLIGONOS IRREGULARES				
N° POLIGONO	GPS (Ha)	Transferencia DIGITAL (Ha)	Diferencia	% GPS
1	1,72	1,62	0,1	5,81
2	3,4	3,43	0,03	0,88
3	2,65	2,66	0,01	0,38
4	1,41	1,42	0,01	0,71
5	3,14	3,14	0	0,00
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,464</b>	<b>2,454</b>	<b>0,03</b>	<b>1,56</b>

Los resultados, indican una diferencia poco significativa entre realizar el levantamiento con GPS y transferirlo digitalmente en la pantalla del computador. Al contrario de lo que se esperaba el porcentaje de la diferencia con respecto al GPS, fue mayor en los polígonos regulares que en los irregulares, esto se puede deber a que en los polígonos regulares existe un valor que se escapa de los restantes. También cabe destacar que este análisis fue hecho en polígonos de tamaño pequeño, entre 1.5 y 5 ha, lo cual aumenta la posibilidad de errores. Así y todo se obtuvieron diferencias promedio aceptables.

**3.1.1.2 Resultados con 8 puntos de Control.** En la Tabla 3, se presentan los resultados obtenidos al digitalizar los polígonos regulares e irregulares en una Geofoto realizada con 8 puntos de control. Además, se puede observar la diferencia que existe entre el polígono levantado con GPS (Real) y los que fueron digitalizados en pantalla mediante el Arc-View.

Tabla 3. Resultados de la Geofoto producida con 8 puntos de control en Concepción (zona plana).

POLIGONOS REGULARES				
N° POLIGONO	GPS (Ha)	Transferencia DIGITAL (Ha)	Diferencia	% GPS
1	2,49	2,33	0,16	6,43
2	1,59	1,59	0	0,00
3	2,37	2,39	0,02	0,84
4	3,26	3,29	0,03	0,92
5	5,45	5,23	0,22	4,04
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,032</b>	<b>2,966</b>	<b>0,086</b>	<b>2,45</b>
POLIGONOS IRREGULARES				
N° POLIGONO	GPS (Ha)	Transferencia DIGITAL (Ha)	Diferencia	% GPS
1	1,72	1,63	0,09	5,23
2	3,4	3,44	0,04	1,18
3	2,65	2,7	0,05	1,89
4	1,41	1,45	0,04	2,84
5	3,14	3,24	0,1	3,18
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,464</b>	<b>2,492</b>	<b>0,064</b>	<b>2,86</b>

Los resultados se asemejan a los de la tabla anterior, con la diferencia que el error es menor entre polígonos regulares e irregulares. Es notorio que las diferencias, son por lo general, menores al utilizar ocho puntos de control con respecto a cuatro puntos de control.

### 3.1.2 Resultados zona Abrupta (Fundo Escuadrón).

3.1.2.1 Resultados con 4 puntos de Control. En la tabla 4, se observan los resultados obtenidos al digitalizar los polígonos regulares e irregulares en una Geofoto realizada con 4 puntos de control. Además, se puede observar la diferencia que existe entre el polígono levantado con GPS (Real) y los que fueron digitalizados en pantalla mediante Arc-View.

Tabla 4. Resultados de la Geofoto producida con 4 puntos de control (zona abrupta).

POLIGONOS REGULARES				
N° POLIGONO	GPS (Ha)	Transferencia DIGITAL (Ha)	Diferencia	% GPS
1	5,39	5,32	0,07	1,30
2	6,6	5,88	0,72	10,91
3	7,19	6,58	0,61	8,48
4	2,98	2,58	0,4	13,42
5	4,82	4,64	0,18	3,73
<b>PROMEDIO</b>	<b>5,396</b>	<b>5</b>	<b>0,396</b>	<b>7,57</b>
POLIGONOS IRREGULARES				
N° POLIGONO	GPS (Ha)	Transferencia DIGITAL (Ha)	Diferencia	% GPS
1	1,7	1,66	0,04	2,35
2	4,23	3,78	0,45	10,64
3	7,14	6,1	1,04	14,57
4	5,56	5,44	0,12	2,16
5	2,82	2,66	0,16	5,67
<b>PROMEDIO</b>	<b>4,29</b>	<b>3,928</b>	<b>0,362</b>	<b>7,08</b>

En esta tabla, se puede ver que la diferencia entre polígonos regulares e irregulares es mínima, lo que indica que la forma de los polígonos no es importante en el resultado. Llama la atención que la diferencia observada es mayor a la que se encontró en la zona plana, esto puede

explicarse por las diferencias causadas por el desplazamiento que tienen las fotografías debido al relieve.

**3.1.2.2 Resultados con 8 puntos de Control.** En la Tabla 5, se observan los resultados obtenidos al digitalizar los polígonos regulares e irregulares en una Geofoto realizada con 8 puntos de control. Además, se puede observar la diferencia que existe entre el polígono levantado con G.P.S (Real) y los que fueron digitalizados en pantalla mediante Arc-View.

Tabla 5. Resultados de la Geofoto producida con 8 puntos de control (zona abrupta).

POLIGONOS REGULARES				
N° POLIGONO	GPS (Ha)	Transferencia DIGITAL (Ha)	Diferencia	% GPS
1	5,39	5,58	0,19	3,53
2	6,6	6,21	0,39	5,91
3	7,19	6,67	0,52	7,23
4	2,98	2,71	0,27	9,06
5	4,82	4,87	0,05	1,04
<b>PROMEDIO</b>	<b>5,396</b>	<b>5,208</b>	<b>0,284</b>	<b>5,35</b>
POLIGONOS IRREGULARES				
N° POLIGONO	GPS (Ha)	Transferencia DIGITAL (Ha)	Diferencia	% GPS
1	1,7	1,76	0,06	3,53
2	4,23	3,96	0,27	6,38
3	7,14	6,7	0,44	6,16
4	5,56	5,24	0,32	5,76
5	2,82	2,96	0,14	4,96
<b>PROMEDIO</b>	<b>4,29</b>	<b>4,124</b>	<b>0,246</b>	<b>5,36</b>

Los resultados de la tabla muestran que no existen diferencias entre los polígonos regulares y los irregulares. Algo que se puede destacar de este estudio es



la disminución de la diferencia promedio, la cual bajó en un punto, lo que no deja de ser despreciable, debido al tamaño de los polígonos.

### **3.2 Análisis Estadístico**

El estudio estadístico consideró en primer lugar realizar un análisis de varianza para un diseño de bloques completamente aleatorizado. Tal como se presentó en la metodología. El diseño presenta 2 bloques correspondientes a la zona de topografía plana y la con fuertes pendientes. A cada uno de estos bloques se le aplicaron 4 tratamientos con 5 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos aplicados fueron los siguientes.

Tratamiento 1: Geofoto con 4 puntos de control y polígonos regulares.

Tratamiento 2: Geofoto con 4 puntos de control y polígonos irregulares.

Tratamiento 3: Geofoto con 8 puntos de control y polígonos regulares.

Tratamiento 4: Geofoto con 8 puntos de control y polígonos irregulares.

**3.2.1 Análisis de Varianza para bloques.** La Tabla 6, presenta el Anova del análisis por bloques completamente aleatorizados. En un primer paso, el análisis nos permite detectar diferencias significativas entre los bloques.

Tabla 6. Tabla Anova para Bloques al azar.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	F de Tabla $\alpha=$	
					0.05	0.01
Bloques	1	0.69	0.69	18.41	4.12	7.42
Tratamiento	3	0.026	0.009	0.24	2.87	4.40
Error	35	1.31	0.037			
Total	39	2.02				

Los resultados de la Tabla 6, indican para la diferencia entre los bloques un F calculado de 12, el cual es mayor al F tabulado con 1 y 35 grados de libertad para un valor alfa de 0.05 y 0.01, por lo tanto según lo explicado en la metodología, existe diferencia significativa entre bloques.

**3.2.2 Análisis de varianza para tratamientos.** Dado la detección de diferencia significativa entre bloques la detección de diferencias entre tratamientos se realizó mediante un Anova para diseño completamente aleatorizado.

**3.2.2.1 Análisis para la zona Plana (Concepción).** En la Tabla 7 se presentan los resultados del Anova para la zona plana (Concepción).

Tabla 7. Tabla Anova para la zona plana (Concepción).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadrado Medio	F calc	F Tabla $\alpha=$	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	0.008	0.0027	0.682	3.24	5.29
Error	16	0.062	0.0039			
Total	19	0.07				

En la Tabla 7, se aprecia que no existe diferencia significativa entre los distintos tratamientos, ya que el F calculado, no excede el valor del F tabulado, por lo tanto se acepta la hipótesis nula, que indica que no existe diferencia significativa para ninguno de los dos niveles de significación aplicados  $\alpha=(0.01, 0.05)$ .

**3.2.2.2 Análisis para la zona Abrupta (Escuadron).** En la Tabla 8, se presentan los resultados obtenidos en la Anova para la zona con pendientes.

Tabla 8. Tabla Anova para la zona Abrupta.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadrado Medio	F calc	F Tabla $\alpha=$	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	0.071	0.024	0.32	3.24	5.29
Error	16	1.194	0.075			
Total	19	1.266				

En la Tabla 8 se puede apreciar que no existe diferencia significativa entre los distintos tratamientos, ya que el F calculado por la tabla Anova no excede el valor del F tabulado, por lo tanto se acepta la hipótesis nula, que indica que no existe diferencia significativa para ninguno de los dos niveles de significación aplicados  $\alpha=(0.01, 0.05)$ .



#### **IV Conclusiones**

1.- Existe diferencia significativa entre Georreferenciar fotografías no métricas en un terreno plano y en un terreno con pendientes fuertes.

2.- Los porcentajes de error con respecto a una medida real que en este caso fue la proporcionada por el GPS son mayores en un terreno con pendientes que en un terreno plano.

3.- No existe diferencia entre Georreferenciar una fotografía con cuatro u con ocho puntos de control GPS ya que los resultados no varían significativamente.

4.- La forma de los polígonos no influye ya que los errores que se obtuvieron en las formas regulares e irregulares fueron similares.

5.- Se validó una metodología de producción cartográfica en forma objetiva y simple, aplicable siempre y cuando se tenga acceso a la tecnología GPS y se cuente con un Software manejador de datos SIG.

## V Resumen

En esta memoria se efectuó una investigación sobre la efectividad de un método para generar cartografía. Este método analiza la exactitud al digitalizar áreas en geofotos producidas a partir de cuatro y ocho puntos de control GPS, en terreno plano y con pendiente.

El procedimiento consideró georreferenciar fotos aéreas no métricas con puntos de control GPS; realizándose con una extensión del programa Arc-View llamada Image Análisis. Los datos de las superficies de los polígonos fueron comparados con los obtenidos al levantar los mismos polígonos con GPS (dato real); la diferencia entre estas dos determinaciones de superficie se consideró como error.

Como respuesta a las interrogantes planteadas en la tesis, se llegó a concluir, que entre georreferenciar fotos aéreas en terreno con pendiente y en terreno plano, existe diferencia significativa. Además, se concluyó que la forma y números de puntos de control GPS no son realmente significativos en el resultado.

## VI Summary

The purpose of this thesis is to research about the effectivity of a method for map production. This method analyzes the accuracy to digitalize areas in geophotos produced with four and eight GPS control points, in a flat terrain as well as in a rugged area.

To take over this procedure, non metric aerial photos were referenced respect to GPS control point. This was done with Arc-View Software extension knows as Image Analysis. The data obtained from the polygonal areas were compared with the ones obtained for the same polygons with GPS, which was considered as ground trust.

The results reached with this research were that the differences between georeferencing aerial photos in a plain area and in a rugged area are significant. We can also conclude that the form and the number of GPS control point aren't significant in the main result.

## VII Bibliografía

- August, P., Michaud. J., Labash, and Smith, C., (1994): "GPS for Enviromental Applications: Accurracy and Precisión of Locational Data"
- Barth, H.P., (1991): "Procesamiento Digital de Imágenes" Universidad de Karlsruhe, Eschborn.
- Castro, Roberto, (1996): "Manual de Fotogrametría y Fotointerpretación", Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.
- Hurn, J. (1989): "GPS- A Guide to the Next Utility". Trimble navigation Ltda., Sunnyvale, CA 94088- 3642, USA. 76 p.
- López, A. (1992) Al-Top, Topografía S.A.
- Nuñez, Valbuena, Velasco, (1992): "La Nueva Era de la Topografía"
- Serafín, Lopez-Cuervo y Estevez, (1980): "Fotogrametría", Madrid.
- Wayne, Daniel. , (1991): "Bioestadística, base para el análisis de las ciencias de la salud."