

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



**ESTUDIO DE EXACTITUD DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL
(GPS) EN LA ACTUALIZACION CARTOGRAFICA DE LA RED CAMINERA
FORESTAL**

Por

CARLOS ALBERTO RUIZ GARVIA

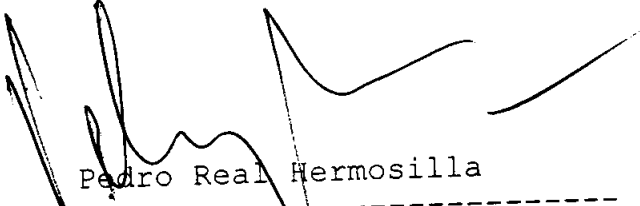
MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL.

CONCEPCION - CHILE

1997

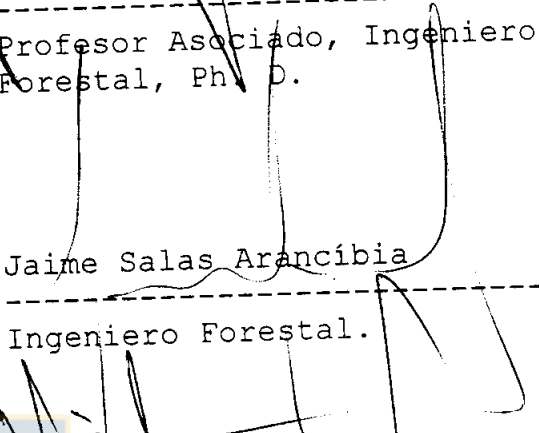
ESTUDIO DE EXACTITUD DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO
GLOBAL (GPS) EN LA ACTUALIZACION CARTOGRAFICA DE LA RED
CAMINERA FORESTAL

Profesor Asesor


Pedro Real Hermosilla

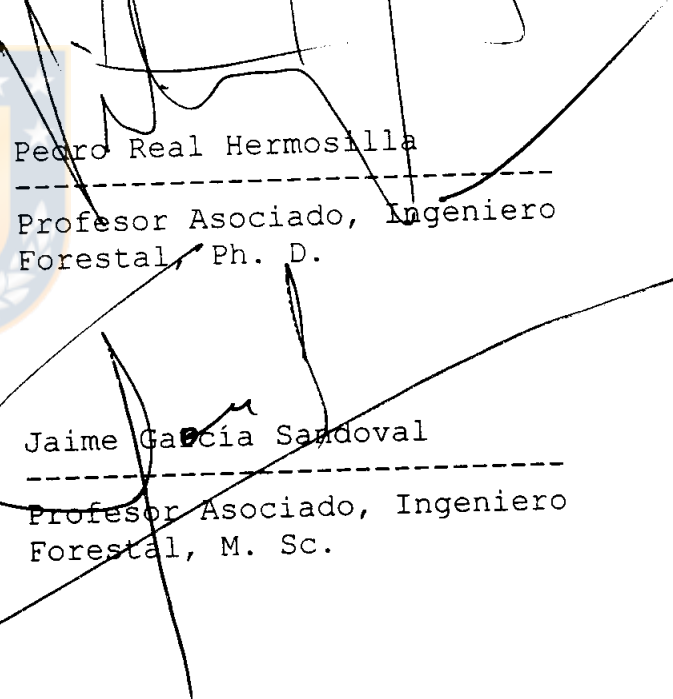
Profesor Asociado, Ingeniero
Forestal, Ph. D.

Profesor Asesor


Jaime Salas Arancibia

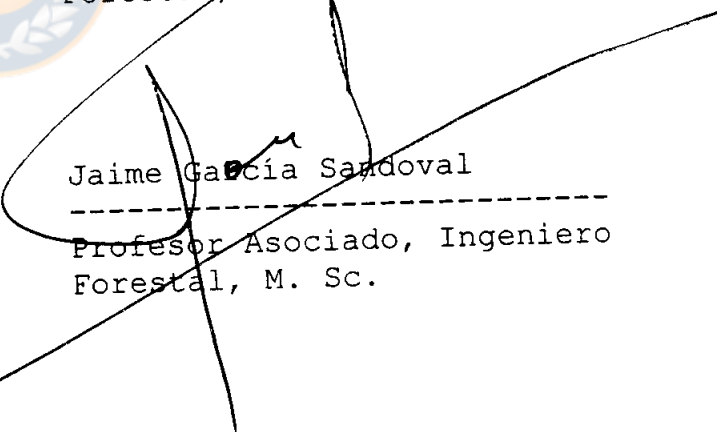
Ingeniero Forestal.

Director Departamento de
Manejo de Bosques y Medio
Ambiente


Pedro Real Hermosilla

Profesor Asociado, Ingeniero
Forestal, Ph. D.

Decano Facultad de Cs.
Forestales


Jaime García Sandoval

Profesor Asociado, Ingeniero
Forestal, M. Sc.

Calificación de la memoria de título

Pedro Real Hermosilla: Noventa y siete puntos.

Jaime Salas Arancibia: Noventa y cinco puntos.

INDICE DE MATERIAS

I

CAPITULO		PAGINA
I	INTRODUCCION.....	1
II	OBJETIVOS.....	4
III	REVISION BIBLIOGRAFICA.....	5
	3.1. Presentación y descripción del sistema.....	5
	3.1.1 Introducción.....	5
	3.1.2 Configuración del sistema.....	6
	3.1.2.1 Los satélites.....	6
	3.1.2.1.1 Descripción general.....	6
	3.1.2.1.2 Señal de los satélites.....	6
	3.1.2.2 El sistema de control.....	8
	3.1.2.3 Los usuarios.....	8
	3.1.3 Funcionamiento del GPS.....	9
	3.1.4 Fuentes de error.....	12
	3.1.4.1 Error del satélite.....	12
	3.1.4.2 Error en la propagación de la señal.....	13
	3.1.4.3 Error dependiente de la geometría.....	13
	3.1.5 Metodologías de trabajo.....	14
	3.1.5.1 Medición individual.....	14
	3.1.5.2 Medición diferencial.....	14
	3.1.5.2.1 Corrección diferencial a tiempo real.....	15
	3.1.5.2.2 Corrección diferencial en postproceso.....	15

		II	
	3.1.6	Modalidades de medición.....	15
	3.1.7	Exactitud.....	16
	3.1.8	Sistema de referencia.....	19
	3.1.8.1	Datums.....	19
	3.1.8.2	Sistema de coordenadas.....	21
	3.1.9	Futuro del GPS.....	22
IV		MATERIALES Y METODO.....	23
	4.1	Materiales y equipos.....	23
	4.1.1	Area de estudio.....	23
	4.2	Materiales.....	23
	4.2.1	Georreceptor Móvil.....	23
	4.2.2	Estación Base.....	24
	4.2.3	Software.....	25
	4.2.3.1	Planificación.....	25
	4.2.3.2	Corrección diferencial.....	26
	4.2.3.3	Confección de planos.....	26
	4.2.4	Hardware.....	26
	4.2.5	Equipo adicional.....	26
	4.2.6	Descripción de la base cartográfica	27
	4.2.6.1	Puntos de Control Planialtimétricos del IGM.....	27
	4.2.6.2	Planos digitales.....	27
	4.3	Metodología.....	27
	4.3.1	Descripción de los levantamientos cartográficos con GPS.....	31
	4.3.2.1	Planificación.....	31

	4.3.2.2 Georreferenciación de la Estación Base.....	32
	4.3.2.3 Captura de datos.....	31
	4.3.2.4 Postproceso.....	33
	4.3.2.5 Confección cartográfica.....	33
	5.3 Determinación de exactitud.....	33
	4.3.4.1 Ajuste de datos GPS a los planos digitales.....	36
	4.3.5 Comparación económica GPS-FA.....	37
V	RESULTADOS.....	48
	5.1 Exactitud de los puntos de control GPS.....	41
	5.2 Actualización del camino forestal con GPS.....	42
	5.3 Ajuste de datos GPS a los planos digitales.....	43
	5.4 Comparación económica.....	46
	5.4.1 Determinación de costos a partir de GPS.....	46
	5.4.2 Determinación de costos a partir de FA.....	49
	5.4.3 Comparación de costos GPS - FA.....	52
VI	DISCUSION.....	54
VII	CONCLUSIONES.....	58
VIII	RESUMEN.....	59
IX	SUMMARY.....	60
X	BIBLIOGRAFIA.....	61

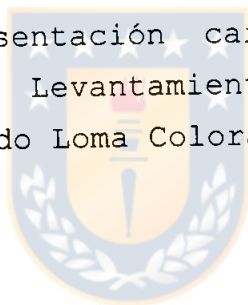
INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Intersección de las señales emitidas por tres satélites, se usa un cuarto satélite para reducir a un cuarto punto.....	11
2	Equipo usado como instrumento móvil, modelo GeoExplorer, de Trimble Ltda.....	24
3	Estación base (CBS) Trimble Ltda. usada en el estudio.....	25
4	Organigrama de actividades realizadas en el estudio de exactitud.....	30
5	Resultados del GPS sin ajuste, con una exactitud de 22,42 metros con respecto a la información de un plano digital de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.....	47
6	Resultados del GPS con ajuste, con una exactitud de 11,62 metros con respecto a la información de un plano digital producto de	

	restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.....	48
7	Resultado de la comparación económica con GPS y FA, usando para esta última, dos bases restituidas para la rectificación con Sketchmaster.....	55

En el Apéndice

1	Presentación cartográfica 1.20.000 del Levantamiento con GPS en el Fundo Loma Colorada.....	64
---	---	----



INDICE DE TABLAS

N° DE TABLA		PAGINA
<u>En el Texto</u>		
1	Exactitud del GPS, en los Puntos de Control Planialtimetricos (PCPs) y Puntos de Control presentes en el camino.....	43
2	Exactitud, a partir de la media de los vectores error, en las mediciones con GPS de diez y nueve Puntos de Control en un plano digital producto de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.....	44
3	Exactitud, a partir de la media de los vectores error ajustados, en las mediciones con GPS de diez y nueve puntos de control en un plano digital producto de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.....	46
4	Tiempos y rendimientos estimados en la actualización cartográfica de la red caminera forestal con GPS en el Fundo Loma Colorada.....	49

5	Costos de actualización cartográfica en una red caminera forestal en el Fundo Loma Colorada.....	50
6	Costos por hora y por kilómetro considerando el tiempo y longitud de caminos para el levantamiento GPS...	51
7	Tiempos y rendimientos obtenidos con fotografías aéreas en la actualización cartográfica de caminos forestales en el fundo loma colorada, considerando distintos tiempos para la implementación fotográfica.....	52
8	Costos calculados en la actualización cartográfica, con fotografías aéreas, de la red caminera forestal en el Fundo Loma Colorada.....	53
9	Costos totales de actualización cartográfica con fotografías aéreas, considerando tres escenarios para el tiempo de obtención fotográfica y dos alternativas para la base usada en la rectificación.....	54

10 Costos totales de los levantamientos GPS y con fotografías aéreas. Para este ultimo, se consideran las alternativas 1 y 2 correspondiente dos bases restituidas de diferente exactitud y costo.....

55



I INTRODUCCION

La cartografía es una herramienta fundamental en las actividades que involucra el manejo forestal. Las condiciones cambiantes del terreno producto del manejo forestal u otros agentes de origen artificial o natural, hacen que la cartografía quede rápidamente obsoleta.

La gestión que realiza una empresa forestal, corresponde a una continua toma de decisiones, que se realizan en forma más eficiente si se dispone de información cartográfica exacta y actualizada.

Además, las empresas forestales en su gestión, cumplen con un programa regular para mantener un calendario de actividades silviculturales, que incorpora el uso de planos, los que con frecuencia son actualizados a partir de fotografías aéreas de formato pequeño y un instrumento rectificador como el Sketchmaster.

Sin embargo, las condiciones climáticas, generalmente, restringen la condiciones favorables en que se pueden realizar los procesos de toma de fotografías aéreas. Además, por la naturaleza subjetiva en los procesos de traspaso y revisión de la información, hay una necesidad de implementar métodos más rápidos, objetivos y a un menor costo para llevar a cabo estas tareas.

Una herramienta que está siendo considerada para la adquisición de datos georreferenciados de información precisa y descriptiva, es el Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD). El sistema comprende una red de

satélites denominados Navstar en órbitas cada 12 horas que funcionan para cualquier condición climática de manera ininterrumpida para todo el mundo.

La utilización del GPS, en un nivel operativo, no se ha desarrollado masivamente hasta ahora en el sector forestal chileno. Aún cuando se visualiza un amplio campo de aplicaciones, su uso se ha postergado en espera de investigación que demuestre:

- La superioridad de esta tecnología sobre las tradicionales en uso.
- Se estudien la eficiencia y exactitud envolviendo una gran variedad de factores técnicos para las condiciones locales.
- Pueda complementarse a una base de datos en un Sistema de Información Geográfico (SIG).
- Y su factilidad económica.

Este estudio tiene como propósito determinar la exactitud del GPS en la actualización cartográfica de una red caminera forestal, comparando con información generada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) y lecturas en mapas digitales producto de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas. El uso de una red caminera, permite obtener datos cartográficos fácilmente comparables, bajo condiciones locales similares a las de otras faenas forestales.

Además, en forma anexa al estudio se propuso un método, fácilmente aplicable, para mejorar la exactitud de los datos GPS con respecto a una base cartográfica existente.

Finalmente, se realizó una comparación económica en la actualización cartográfica de una red caminera forestal, con GPS y fotografías aéreas.



II OBJETIVOS

2.1. Objetivo general.

Estudiar la exactitud del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), en la actualización cartográfica de una red caminera forestal.

2.2. Objetivos específicos.

- Determinar la exactitud del posicionamiento con GPS en una red caminera forestal, comparando con: Puntos de Control Planialtimétricos (PCPs) del IGM, y Puntos de Control (PC) presentes en la red caminera obtenidos de lecturas en un plano digital, generado a partir de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.
- Actualizar con GPS el camino principal de una red caminera forestal.

Anexos al estudio de exactitud:

- Mejorar la exactitud del GPS, integrado con un plano digital generado con fotografías aéreas, a partir de un método fácilmente aplicable.
- Comparar económicamente la actualización cartográfica de una red caminera forestal, utilizando GPS y fotografías aéreas.

III REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1. Presentación y descripción del sistema GPS.

3.1.1. Introducción. Wellenhof et al. (1992) define el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) como un sistema capaz de satisfacer los requerimientos para las fuerzas militares en la determinación exacta de posiciones, velocidad y tiempo, en un sistema de referencia común, en o cerca de la tierra, para cualquier condición climática.

El GPS fue creado y es un proyecto desarrollado por el Departamento de Defensa y la Marina de Guerra de los EEUU con el objeto de configurar un sistema capaz de entregar la posición de un determinado objetivo en cualquier lugar del globo terrestre. En Enero de 1980, éste sistema, concebido con fines bélicos, abre sus fronteras al uso civil sin costo para el usuario, convirtiéndose a partir de esa fecha en una importante fuente de desarrollo para las ciencias de la tierra y sus afines. Cuando el proyecto GPS este completamente desplegado, va a existir una cubierta global de seis a ocho satélites observables con un ángulo de 15° de elevación. Esto se debe a las órbitas circulares cercanas de los satélites con una altitud de aproximadamente 20.200 kilómetros sobre la tierra en un periodo de 12 horas siderales (Wellenhof et al. 1992; Rutscheidt et al. 1982 y Perreault 1980).

Los métodos tradicionales para la determinación de coordenadas a partir de teodolitos y distanciómetros, basan sus procedimientos en la intervisibilidad de los puntos y en la distancia que sean capaz de medir los instrumentos utilizados, para el sistema GPS en cambio, tales requisitos

no son preponderantes, ya que se puede realizar la determinación de coordenadas en condiciones climáticas y de intervisibilidad totalmente adversas. De ahí que pueda operar de día o de noche, en puntos no intervisibles (Langley,1991).

3.1.2. Configuración del sistema. El sistema GPS esta compuesto por tres subsistemas: los satélites, el sistema de control y los usuarios. Cada uno de estos subsistemas se describen a continuación:

3.1.2.1. Los satélites.

3.1.2.1.1. Descripción general. Este subsistema está comprendido por una constelación de 21 satélites activos más tres de repuesto, dispuestos en seis planos orbitales con 55 grados respecto a el plano del ecuador, con cuatro satélites por plano (Hurn,1989).

Los satélites GPS esencialmente proveen una plataforma para transmisores de señales de radio, relojes atómicos, computadoras, y otros equipos usados para operar el sistema. Los equipos electrónicos de cada satélite pueden captar un pseudorange R y emitir un mensaje al usuario para determinar la posición espacial del satélite en cualquier instante. Con este mensaje es posible para el usuario determinar su posición en o sobre la tierra (Wellenhof et al. 1992 y Payne 1982).

3.1.2.1.2. Señal de los satélites. Cada satélite transmite dos radio frecuencias para el posicionamiento: L1 con 1575.42 Mhz. y L2 con 1227.60 Mhz.

El mensaje del satélite se emite a razón de 50 bit por segundo, la longitud de éste es de 1500 bit, el cual se completa en 30 segundos de transmisión. El mensaje esta dividido en cinco partes, cada una conteniendo 10 palabras de 30 bit cada una (Wellenhof et al.,1992).

Los pseudorángos derivados para medir el tiempo de viaje de la señal desde cada satélite al Geo-receptor, usa dos códigos pseudoaleatorios de ruido (PRN).

El primero de estos códigos es el código C/A, disponible para uso civil. Este código consiste en una onda efectiva de aproximadamente 300 m., la cual es modulada solamente sobre L1 y omitida deliberadamente para la frecuencia L2. Esta omisión permite al DoD controlar la información emitida por el satélite (Wellenhof et al.,1992).

El segundo código es el código P, éste esta restringido a uso militar y otros usos autorizados. Tiene una longitud de onda efectiva de 30 m. y es modulada sobre L1 y L2.

Existen dos métodos para inducir errores en la señal, el primero es el de Selective Availavility (S/A) o Disponibilidad Selectiva, y el segundo es conocido como Anti-spoofing (A-S) o Señal Truncada (Wellenhof et al.,1992).

La identificación de los satélites puede hacerse usando distintas metodologías, estas pueden ser; según la secuencia de inyección, el número transmitido en el código PRN, catálogo de enumeración de la NASA, o una designación internacional. Para evitar cualquier confusión sólo es

usado el número transmitido por el código PRN, (Wellenhof et al.,1992).

3.1.2.2. El sistema de control. Este segmento esta comprendido por el Sistema de Operación y Control (OCS), consiste en una estación master ubicada en Colorado Springs, cuatro estaciones monitoras alrededor del mundo y tres estaciones de control terrestre. La función de estas estaciones es la de monitorear; las órbitas, los relojes y el funcionamiento general de los satélites. Además, realizan modelos y emiten señales a los satélites para sincronizar los relojes y predecir su desplazamiento (Hurn,1989).

Dado que los satélites GPS pasan sobre una de las estaciones monitoras tres veces diarias, le dan al DoD la oportunidad de medir su altitud, posición y velocidad. Las variaciones que se investigan se denominan "errores de efemérides", causados por fenómenos tales como la atracción gravitacional de la Luna y el Sol y de la presión solar sobre el satélite (Hurn,1989). El DoD retransmite esa información de nuevo al satélite, luego el satélite emitirá estas pequeñas correcciones junto con su información de tiempo.

3.1.2.3. Los usuarios. El segmento usuario esta constituido de la totalidad de Geo-receptores de navegación o geodésicos, tanto de uso civil como militar. Basados en el tipo de lectura de las señales, y forma de operación se clasifican en tres grupos:

- C/A Code Pseudorange.

- C/A Code Carrier Phase.

- P-Code Carrier Phase.

3.1.3. Funcionamiento del GPS. El funcionamiento del GPS, se basa en hallar la distancia desde los satélites que actúan como puntos de referencia exactos, hasta el punto en que se encuentra el Geo-receptor, (Hurn,1989).

Las coordenadas básicas pueden ser calculadas para cualquier posición en la tierra al medir la distancia desde un grupo de satélites hasta esta posición.

La distancia desde un solo satélite es obtenida midiendo el tiempo que demora la señal desde el satélite hasta el Geo-receptor. Para esto, el Geo-receptor necesita determinar exactamente el instante en que la señal es transmitida por el satélite.

Como la coordenada del punto donde se encuentra el Geo-receptor, tiene tres componentes (X, Y, Z), es necesario usar la señal de más de un satélite.

Si se midiera un sólo satélite, el punto se encontraría en cualquier posición en el espacio. Si se usaran las señales emitidas desde dos satélites, la posición del Geo-receptor, se encontraría en cualquier parte de la superficie de intersección. Midiendo la distancia a tres satélites, es posible reducir la posición en que el punto de la tierra puede estar a dos puntos en el espacio, para decidir entre estos dos puntos se puede hacer una cuarta medición o simplemente descartar una de las posiciones si esta resulta

absurda (Hurn,1989).

La Figura 1, muestra la intersección entre las señales que emiten continuamente cada uno de los cuatro satélites, donde se obtiene la coordenada (X,Y,Z) de un solo punto.

Los cálculos dependen de relojes de alta precisión. Los satélites tienen relojes atómicos con una precisión al nanosegundo. Por otro lado, debido al alto costo que uso implica, los Geo-receptores usan relojes moderadamente precisos (Hurn,1989).

Para corregir cualquier error de sus relojes, los Geo-receptores usan una medición extra proporcionada por un cuarto satélite.

Para conocer el tiempo de transmisión, los satélites y Geo-receptores están sincronizados de manera que generen el mismo código exactamente a la misma hora, una vez que el Geo-receptor recibe la señal desde el satélite basta determinar retrospectivamente cuanto hace que el Geo-receptor generó el mismo código (Hurn,1989).

Tanto los satélites como los Geo-receptores, generan un conjunto de códigos digitales complejos. El uso de un código es importante ya que permite al Geo-receptor hacer una comparación en cualquier momento. Esto hace que muchos satélites puedan operar a la misma frecuencia, ya que cada satélite es identificado por su propio código conocido como Número Pseudo-aleatorio.

En uno de estos dos puntos
se encuentra el Georeceptor

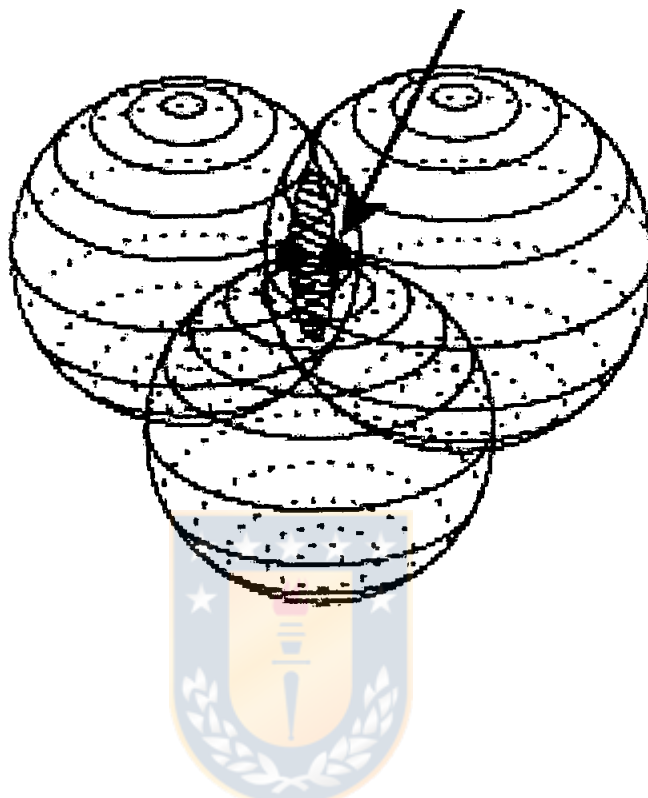


FIGURA 1. Intersección de las señales emitidas por tres satélites, se usa un cuarto satélite para reducir a un solo puntos.

Fuente: Trimble Ltda.

Las órbitas de los satélites son conocidas con antelación, algunos Geo-receptores GPS disponen de un almanaque, éste está gravado en la memoria de su ordenador e indica dónde se encontrará en el espacio cada uno de los satélites, en un momento dado.

En los cálculos, se asume que las señales GPS viajan a una velocidad constante, igual a la velocidad de la luz, siendo ésta constante solamente en el vacío. Además, las señales GPS atraviesan la ionosfera y troposfera. Hurn(1989),

define la primera como una capa de partículas cargada eléctricamente, ubicadas de 130 a 190 kilómetros sobre la superficie terrestre y la segunda como: el tramo de atmósfera terrestre donde residen los fenómenos meteorológicos. El paso de las señales a través de estas capas, provoca un error en la recepción de la señal, algunos Geo-receptores son capaces de hacer algunas correcciones de estas fuente causantes de error.

3.1.4. Fuentes de error. El sistema de medición satelital GPS está afecto a errores, estos errores pueden ser agrupados de la siguiente manera :

- Error del satélite.
- Error en la propagación de la señal.
- Error dependiente de la geometría de los satélites.

3.1.4.1. Error del satélite. Los efectos asociados al satélite y su posición contribuyen a alterar la medición de distancia. El mensaje de transmisión esta dado por la posición instantánea del satélite, determinada en un sistema geocéntrico. Este mensaje es conocido con el nombre de *efemérides* y sus valores son predeterminados por las estaciones de control en tierra. A este mensaje se le pueden atribuir tres tipos de error:

- El primero de los errores, será intrínseco al sistema debido a que es imposible determinar con toda exactitud la posición del satélite porque las órbitas de estos están influenciadas por la atracción gravitacional, la

que a su vez no ejerce una fuerza constante sobre dichos cuerpos.

- El segundo tipo de error está asociado a la medición de tiempo. Esta determinación es fundamental en la medición de la distancia desde el satélite al Geo-receptor. Aunque los relojes empleados son de alta calidad, estos no son perfectos.
- Y la tercera fuente de error es introducida deliberadamente por el DoD, en donde se degrada las efemérides y se alteran los relojes. Esta acción, como se explicó en la sección 3.1.2.1.2, se conoce con la sigla S/A (Selective Availability ó Disponibilidad Selectiva). Tal acción se realiza con fines netamente estratégicos.

3.1.4.2. Error en la propagación de la señal. Este error es introducido cuando la señal del satélite pasa a través de la atmósfera, encontrándose con la troposfera y la ionosfera, las que afectan la onda produciendo un cambio de velocidad o retraso conocido con el nombre de *refracción*. La mayor parte de este error se produce al cruzar la ionosfera que posee una gran cantidad de partículas cargadas electrónicamente.

3.1.4.3. Error dependiente de la geometría de los satélites. Otro factor que afecta la medición, es la geometría de los satélites conocido como: Factor de Dilución de la Precisión (PDOP).

El PDOP, es un indicador de la geometría de los satélites,

que tiene relación con la distribución espacial que pueden tener respecto al receptor, en el instante de medición. De tal manera que, cuando encontramos satélites dispuestos extremadamente juntos, este factor tenderá a aumentar y, por lo tanto, indicará una medición poco confiable. Por el contrario, cuando estén bastante dispersos respecto al valor de la antena, el valor será pequeño, indicando una buena medición.

3.1.5. Metodologías de trabajo. Respecto a las metodologías de trabajo utilizando receptores GPS, éstas se pueden dividir en dos grupos:

-MEDICION INDIVIDUAL

-METODO DIFERENCIAL

3.1.5.1. Medición individual. En esta categoría se encuentran todos los trabajos realizados con un solo georreceptor, se hacen mediciones de terreno con poca exactitud (hasta 100 m.). En estos trabajos podemos incluir la navegación y el simple posicionamiento de terreno.

3.1.5.2. Medición diferencial. El método diferencial es una técnica usada para mejorar la exactitud de los datos GPS, consiste en reducir los errores provocados por los relojes, efemérides, refracción en la ionosfera y troposfera y el de S/A. Se realiza con un mínimo de dos Geo-receptores utilizados en forma simultánea, con la salvedad de que al menos uno de ellos se sitúe en un punto de coordenadas conocidas llamado *estación base*. El instrumento no estacionario se conoce como *Geo-receptor móvil o remoto* (Hurn, 1989).

Los datos capturados por la estación base son usados para conocer los errores contenidos en las señales recibidas desde los satélites. La información de la estación base es comparada con la información del móvil y estas diferencias se usan para remover los errores desde las posiciones de este último.

Existen dos metodologías de trabajo con corrección diferencial, corrección diferencial a tiempo real, y corrección diferencial en postproceso.

3.1.5.2.1. Corrección diferencial a tiempo real. En la corrección diferencial a tiempo real, la estación base calcula y emite el error de las señales recibidas desde los satélites a través de señales de radio.

La información del error es recibida por el móvil y luego aplica la corrección a la posición que estaba calculando. Los resultados de esta metodología de corrección deben ser inmediatamente mostrados en la pantalla del móvil.

Este método es muy útil cuando se necesita saber la posición inmediata en terreno.

3.1.5.2.2. Corrección diferencial en postproceso. En la corrección diferencial en postproceso, la estación base registra los errores de las señales emitidas por cada satélite directamente en un archivo digital. Por otro lado, el móvil también registra su propio archivo digital. Luego, en una etapa posterior a la toma de datos, ambos archivos son procesados en un programa computacional que realiza la corrección diferencial en forma automatizada.

3.1.6. Modalidades de medición. Las modalidades para realizar el posicionamiento con GPS, pueden agruparse de tres maneras:

- Medición estática.
- Medición Pseudo-cinemática.
- Y medición cinemática.

En la modalidad de medición estática, el posicionamiento se realiza capturando un conjunto de puntos para una sola posición, y calculando finalmente la media del conjunto de puntos registrados por posición.

La medición Pseudo-cinemática consiste en capturar información con el equipo georreceptor en movimiento, registrando una posición a partir de intervalos de tiempo predefinidos.

Finalmente, la medición cinemática, consiste en registrar continuamente información generada con el receptor en movimiento.

3.1.7. Exactitud. Gilbert (1996), se refiere a la exactitud del GPS como un tópico complejo envolviendo una variedad de factores técnicos. Además, propone que una descripción ideal de la exactitud GPS debe incluir una referencia de distintos factores y condiciones. Algunos de los factores que afectan la exactitud incluyen: el número de satélites con que se opera, la posición de los satélites, la fuerza de transmisión de las señales, y la distancia de la base al receptor.

Para Leick (1987), el factor más significativo en la exactitud es el equipo usado y el método usado para el procesamiento de datos.

Hurn (1989), propone que la exactitud última del GPS viene determinada por la suma de varias fuentes de error. La contribución de cada fuente variará según las condiciones atmosféricas y el estado de los equipos.

Kruczynski y Jasumback (1993), reportan la evaluación de un Geo-receptor GPS Pathfinder en que se midió un área dentro de un bosque para propósitos de venta. La evaluación, consistió en comparar un levantamiento con teodolito traveso con tres distintas metodologías para la toma de datos GPS. La primera consistió en desplazar el instrumento caminando por el perímetro del área y el archivo fue procesado sin corrección diferencial, la diferencia obtenida con respecto al teodolito fue de 0.5%. La segunda medición incluye corrección diferencial, encontrándose una diferencia de 0.06%. Y la tercera se realizó midiendo objetivos puntuales en las esquinas, y los resultados fueron posteriormente procesados con corrección diferencial, en este caso la diferencia fue del 0.03%. El pequeño tamaño de estas diferencias mostraron que es posible obtener resultados aceptables para muchos propósitos forestales.

Kirk y Luerry (1994) citan a Perry (1992) en un estudio de exactitud, quien usó el GPS corregido diferencialmente para localizar puntos de control de tierra (GCPs) para aplicaciones agrícolas. Sus resultados mostraron que el GPS produce desplazamientos desde 7 hasta 32 metros, entregando una Raíz Media Cuadrática del Error (RMCE) de 8.2 metros. En otra prueba, usando registros de fotografías

aéreas de 12 puntos de control, en la comparación obtiene un RMCE de 4.2 metros.

En un estudio llevado a cabo en un bosque de Marlborough Sounds por Firth y Brownlie (1994), con el objeto de evaluar la exactitud del GPS para actualización cartográfica de planos forestales se midieron un número de caminos forestales y puntos objetivos usando el sistema. Los resultados se corrigieron diferencialmente y las coordenadas obtenidas, fueron posteriormente comparadas con una base cartográfica del mismo lugar generada a partir de fotografías aéreas convencionales y un estereoploter. Los resultados mostraron que el GPS puede proveer coordenadas XY con una diferencia absoluta a partir de la media del Vector Error (VE), de 5 metros con respecto al estereoploter. Además, concluye que el sistema tiene limitaciones ya que las señales de los satélites son interrumpidas tanto por las copas de los árboles como por los lugares que presentan fuertes pendientes.

August et al. (1994), determinan la exactitud y precisión de puntos GPS estacionarios y atributos lineales para aplicaciones de tipo ambientales usando un instrumento móvil de bajo costo (GeoExplorer Trimble) y una estación base Community Base Station (CBS) de la misma marca. En el estudio encontraron que bajo condiciones ideales (un PDOP bajo, y poca obstrucción de señales), un 95% de las localizaciones tuvieron errores de hasta 73 metros sin corrección diferencial, y menores que 6 metros al aplicar la técnica diferencial, y concluye que para dos lugares sectores distintos, aunque se realicen mediciones con técnicas idénticas y de manera simultánea, se obtienen exactitudes no necesariamente correlativas.

3.1.8. Sistema de referencia. El sistema GPS basa su funcionamiento, en la medición de las distancias (trilateración) a puntos conocidos, en este caso los satélites en el espacio. Las órbitas de dichos vehículos están referidas a un sistema geocéntrico, es decir, un sistema en donde se considera al centro de masa de la tierra como el origen de los tres ejes coordenados (X, Y y Z), Roggero (1995) lo asemeja a un sistema de coordenadas geocéntricas cartesianas tridimensionales.

Si se comparan datos geográficos obtenidos de diversas fuentes, estos datos deben ser referenciados a un mismo datum y sistema de coordenadas, puesto que diferentes datums y sistemas de coordenadas proveerán diferentes valores para cada localización geográfica.

3.1.8.1. Datums. Errázuriz y González(1992), proponen que el tamaño y forma de la tierra puede ser físicamente descrito en una primera aproximación muy generalizada como una esfera, en una segunda aproximación más cercana a la realidad describe la tierra como un elipsoide, definido como cuerpo geométrico que se genera por una elipse girando en torno a su eje menor; donde el valor de los radios es máximo en el ecuador y mínimo en los polos, y una tercera o acercamiento a la forma real de la tierra, se define como Geoide.

El geoide es definido por King (1985) y citado por Roggero (1995) como; una superficie equipotencial o el nivel del campo gravítico terrestre, donde cada una de estas superficies incluye todos los puntos, en los cuales el potencial gravitacional o la cantidad de trabajo necesario para superar la aceleración es constante. Errázuriz y

González (1992) agregan que es un cuerpo irregular, de superficie ondulada, y que en su determinación está considerada la fuerza de gravedad terrestre, la cual varía de un punto a otro por la desigual repartición de masa en la corteza de la tierra. Si las masas terrestres tuvieran una repartición homogénea se obtendría un cuerpo regular. La localización de un objetivo puntual sobre la superficie terrestre puede ser determinada midiendo la gravedad y ser comparada con la gravedad obtenida al nivel medio del mar. El geoide es una figura extremadamente compleja. Los modelos matemáticos pueden solo proveer una aproximación de la forma de la superficie tierra, no una representación exacta. Dependiendo de la exactitud requerida y considerando áreas limitadas, los geodestas modelan la tierra usando un elipsoide.

Como resultado de una aproximación relativa de la localización al centro de la masa terrestre, que difiere en distintos lugares, se han creado gran número de elipsoides con el objeto de aproximarse al geoide en diferentes partes del globo.

Las coordenadas obtenidas como resultado de una medición GPS están referidas al ELIPSOIDE GRS-80. El datum incorporado a este elipsoide es el llamado World Geodetic System 1984 (WGS-84). El eje semi-mayor del elipsoide GRS-80 es de 6.378.137,0 metros y el eje semi-menor es 6.356.752,3 metros.

Muchos sistemas de coordenadas, deben tener consideraciones específicas para datum y proyecciones bien definidas. Para poder integrar la base de datos generada por una fuente GPS

datum, existen programas computacionales que proveen un soporte para convertir desde WGS-84 a cualquier otro sistema de coordenadas.

3.1.8.2. Sistema de coordenadas. Un datum representa un modelo de referencia de la Tierra, pero no especifica como es identificado un lugar particular en la Tierra. Cuando se selecciona un datum, se debe decidir como representar un punto en la tierra con respecto a éste, para esto son comúnmente usadas las coordenadas geográficas, estas comprenden dos medidas, la latitud y la longitud, que se expresan en unidades de arco, con relación a una red de coordenadas terrestres constituida por paralelos y meridianos, cuyos orígenes son el ecuador y un meridiano convencional, generalmente el que pasa por Greenwich (Roggero,1995).

El trazado de la red de coordenadas geográficas en una superficie plana es un problema de especial importancia para la Cartografía, debido a la imposibilidad de traspasar

simultáneamente todas las características que esta red representa en la realidad; de ahí la existencia de múltiples proyecciones, las cuales responden a la necesidad de reproducir las variadas propiedades que las coordenadas presentan en un sistema terrestre (Errázuriz y González,1992).

La conferencia llevada a cabo por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica en Bélgica en 1951, recomendó el uso de la Proyección Universal Transversal Mercator (UTM), para el levantamiento de mapas y cartas y determinación de coordenadas geodésicas.

Para la proyección UTM, el globo ha sido dividido en 60 husos de 6° , cada uno de los cuales tiene un meridiano central que recibe el nombre de Meridiano 0 u origen o Eje del huso; de este modo, la amplitud de cada huso es de 3° al oeste y 3° al este del meridiano central respectivo.

En un SIG existen datos que pueden usar posiciones expresadas en un sistema de coordenadas locales. Hay una diferencia entre el sistema WGS-84 con las posiciones entregadas por el GPS y el datum y sistema de coordenadas en el cual la posición será expresada. Los programas cartográficos computacionales, pueden proveer soportes para convertir WGS-84 a cualquier sistema de coordenadas, incluyendo la altura respecto al elipsoide WGS-84 a la altura con respecto al nivel medio del mar, referido algunas veces como la altura con respecto al geoide.

3.1.9. Futuro del GPS. Hurn (1989), describe el GPS como la herramienta del futuro. Si se considera el potencial del sistema y se mira el crecimiento versátil de éste sistema, ahora disponible en el mercado, uno puede ver que esta predicción vino a ser verdad (Firth y Brownlie, 1994).

Considerando el crecimiento explosivo demostrado por el GPS en las posibles aplicaciones que puede concebir, es posible mirar con mucho optimismo el futuro del GPS. Además, Cuando la nueva generación de satélites este implementada, con ciertos requerimientos tanto de hardware como de software substancialmente más baratos, los resultados van a ser más rápidos, y como una consecuencia de esto, las diferencias entre navegación y levantamientos cartográficos van a ser cada vez menos pronunciadas (Wellenhof et al., 1992).

IV MATERIAL Y METODO

4.1. Materiales y equipos.

4.1.1. Area de estudio. El área de estudio corresponde al fundo Loma Colorada, propiedad de la Empresa Forestal Mininco S.A., Rol 15006-49, ubicado en la Región del Bío Bío, Provincia de Concepción, Comuna de Coronel.

La superficie total del predio es de 1.505,8 ha., presentando una topografía irregular con pendientes superiores a 110 %, y plantaciones forestales de Pinus radiata sp. de diferentes edades incluyendo adultos.

La Longitud total de caminos en el fundo es de 113,5 km. y 18,3 km. de éste, corresponden al camino principal.

4.2. Materiales.

Los materiales utilizados en el estudio son descritos a continuación:

4.2.1. Geo-receptor móvil. El instrumento móvil usado para la captura de datos en terreno, es un instrumento de seis canales paralelos y receptor secuencial L1 código C/A, modelo GeoExplorer, marca Trimble.

La memoria interna del instrumento, de ¼ megabytes, es capaz de registrar 9.000 posiciones tridimensionales, en intervalos mínimos cada 0.7 segundos.

Este equipo incluye un cable Camcorder el cual está diseñado para el traspaso de archivos a un PC.

A continuación en la Figura 2, se muestra el equipo móvil usado para el posicionamiento en terreno.

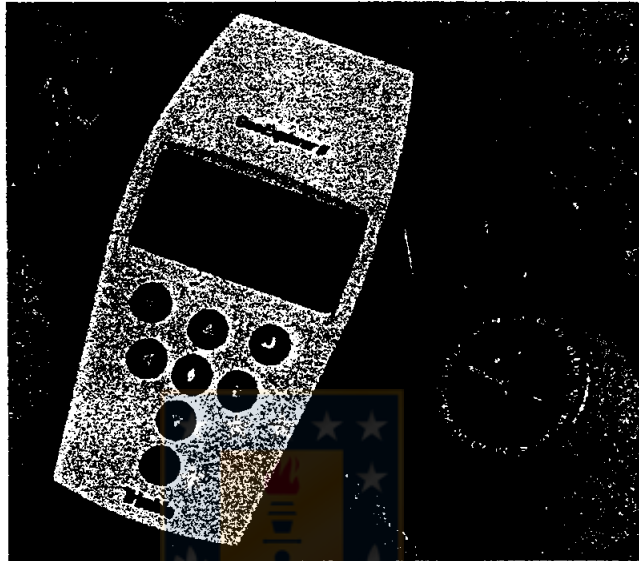


FIGURA 2. Equipo usado como instrumento móvil, modelo GeoExplorer, de Trimble Ltda

Fuente: Trimble Ltda.

4.2.2. Estación base. El equipo utilizado como estación base, fue una Community Base Station (CBS) Trimble, propiedad del Centro de Investigaciones Ambientales (EULA) de la Universidad de Concepción. La CBS, es un sistema recolector de datos compuesta por: un receptor de 12 canales, una antena geodésica L1 para la recepción de la señal de los satélites y un software (PFCBS) para la administración de los datos.

A continuación en la Figura 3, se muestra una fotografía correspondiente a la estación base usada el estudio.

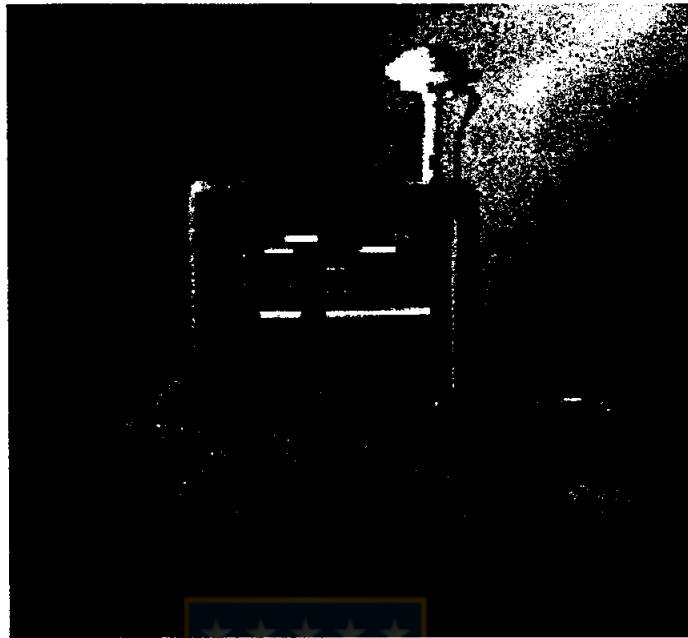


FIGURA 3. Estación base (CBS) Trimble Ltda. usada en el estudio.

Fuente: Trimble Ltda.

4.2.3. Software. Para cada una de las etapas en el estudio, se usó un software específico, cada uno de estos será descrito a continuación, considerando la etapa del estudio en que fue utilizado:

4.2.3.1. Planificación. Para la etapa de planificación se ocupó el software Quick Plan, que con un almanaque (información digital proporcionada por el DoD) previamente ingresado desde un receptor, permite realizar un análisis descriptivo de las condiciones de operación, actividad previa a la captura de datos considerando la zona de interés. El análisis, se hace básicamente, interpretando los datos que el software es capaz de desplegar, como: la disponibilidad, funcionamiento y geometría de los

satélites.

4.2.3.2. Corrección diferencial. La corrección diferencial se realizó usando el software PFINDER 2.59, ingresando los datos tanto de la estación base, como del instrumento móvil. El software permite además, realizar la exportación de datos a formato SIG con interfase: ARC/INFO, AutoCAD, GRASS, ERDAS y otros.

4.2.3.3. Confección de planos. Esto se realizó en un Sistema de Información geográfico ARC/INFO, versión 7.0 para estación de trabajo.

4.2.4. Hardware. Los softwares fueron montados en dos PC IBM compatible 486 Dx, uno de ellos con el programa ejecutable PFCBS ubicado en el Centro EULA, y el segundo PC, con los softwares Quick Plan y PFINDER, disponibles en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Procesamiento Digital de Imágenes, de la Facultad de Ciencias Forestales, en la Universidad de Concepción.

La estación de trabajo utilizada para la confección de planos en ARC INFO fue una SUN Sparc 20 y un plotter Encad modelo Novajet 3 de 600 dpi/pulg, disponibles en el mismo laboratorio.

4.2.5. Equipo adicional. Para el traspaso de archivos GPS en terreno se usó un Notebook Acer 730i, 486 Sx, con el software PFINDER previamente montado para la administración de los datos ingresados.

Para el desplazamiento en terreno, se usó un vehículo 4x4.

4.2.6 Descripción de las bases cartográficas usadas en el estudio.

4.2.6.1. Puntos de Control Planialtimétricos (PCPs) del IGM. Los PCPs del IGM son puntos aereotriangulados generados a partir de restituciones analógicas de primer orden, ubicados en vértices claramente identificables en el terreno.

4.2.6.2. Planos digitales. Los planos digitales fueron obtenidos y proporcionados de la base cartográfica digital de la empresa forestal Mininco S.A.

Esta base digital en formato ARC/INFO, es el resultado de restituciones semianalíticas, restituciones semianalógicas de primer orden, y actualizaciones periódicas con instrumentos denominados rectificadores aproximados como el Sketchmaster.

A partir de los trabajos de restitución, se planimetrearón los niveles de información que se mantienen invariables, como: curvas de nivel, quebradas, ríos y carreteras. Por otro lado, los trabajos de rectificación con Sketchmaster, se realizaron periódicamente para la actualización cartográfica de: caminos, e información de uso actual.

4.3. Metodología.

De acuerdo con los objetivos propuestos, se determinó la exactitud del GPS en una red caminera forestal, comparada con: Puntos de Control Planialtimétricos (PCPs) del IGM, y Puntos de Control presentes en la red caminera, obtenidos

de lecturas de mapas digitales generados a partir de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas. Se midieron los PCPs del IGM con GPS para obtener una exactitud de referencia, considerando que la cartografía nacional está supeditada, generalmente, a la base cartográfica de dicha institución.

La medición de Puntos de Control, presentes en la red caminera, claramente identificables tanto en terreno como en el plano digital, permite comparar objetivamente los resultados del posicionamiento entre los puntos homólogos de los planos digitales.

Además, se actualizó con GPS el camino principal en la red caminera, con el objetivo de estudiar la eficacia del instrumento, en situaciones locales, tanto de topografía como de cobertura vegetal.

Posteriormente, se propuso un método, fácilmente aplicable, para mejorar la integración y exactitud del GPS, en la actualización cartográfica de la red caminera, con respecto a la base de datos generada de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.

Finalmente, para proporcionar antecedentes económicos con respecto al uso de uso del GPS, se compararon, los costos incurridos en la actualización cartográfica de la red caminera forestal, usando GPS y fotografías aéreas.

A continuación en la Figura 4, se entrega un organigrama que describe la secuencia de actividades y mediciones se realizaron para determinar la exactitud del GPS. En las

secciones siguientes, se detalla la metodología de cada una de estas actividades.



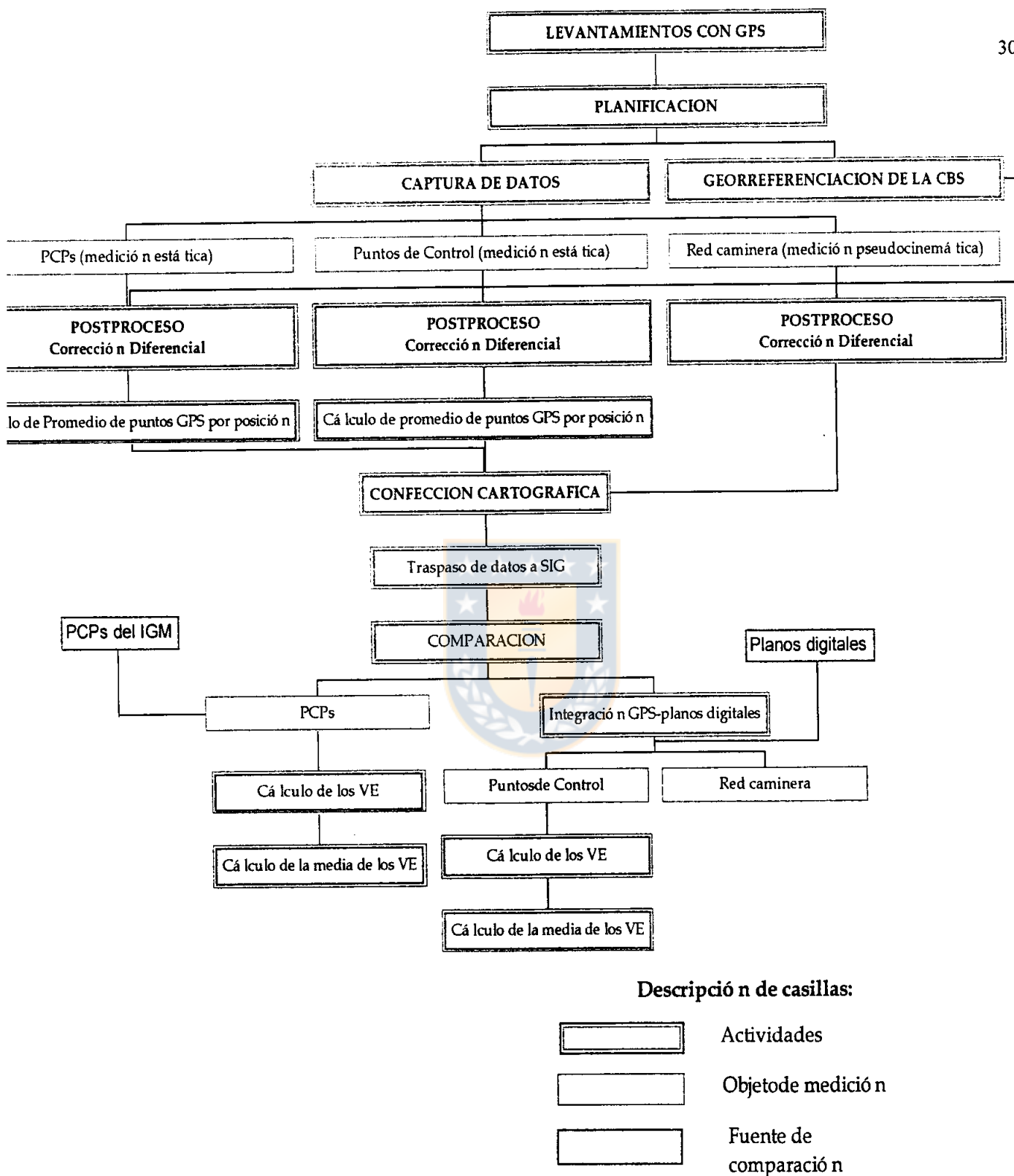


FIGURA 6. Organigrama de actividades realizadas en el estudio de exactitud

4.3.1 Descripción de los levantamientos cartográficos con GPS. Los levantamientos cartográficos con GPS, consistieron en una secuencia de actividades realizadas con el objetivo de generar una base de datos cartográficos. Estas actividades son:

- Planificación
- Georreferenciación de la estación base CBS (actividad realizada una sola vez, y válida para levantamientos posteriores)
- Captura de datos
- Postprocesamiento (Corrección Diferencial)
- Y finalmente, confección cartográfica.

La confección cartográfica, se realizó solamente para los levantamientos que implican la actualización cartográfica del camino en estudio y los Puntos de Control presentes en este.

4.3.2.1 Planificación. La planificación consistió básicamente en un diseño del recorrido y asignación de rutas para la toma de datos en terreno, en estos se consideraron los puntos de interés registrados en la información cartográfica disponible.

Posteriormente, se generó una agenda digital con un diccionario de atributos ingresado en el firmware del instrumento móvil con el objetivo de identificar en el postproceso, los atributos de los archivos generados en terreno.

Además, se fabricó un calendario para la toma de datos en terreno que consistió en una selección de los mejores días y horas para la captura de datos. Este calendario, es el resultado de la interpretación y selección de períodos de tiempo que incluyen: los menores valores de PDOP y mayor disponibilidad de satélites, según los pronósticos del DoD, entregados en forma digital en el almanaque. Esta interpretación, para la toma de datos, se realizó con el apoyo del software Quick Plan.

4.3.2.2 Georreferenciación de la estación base. La georreferenciación de la estación base (CBS), fue necesaria para determinar la posición de referencia, ya que esta información, debe ser ingresada en la corrección diferencial de los datos capturados en terreno con GPS.

Las coordenadas de la estación base georreferenciada, fueron recopiladas del Proyecto de Densificación de la Octava Región, actividad en la que participó el Ministerio de Bienes Nacionales, División del Catastro Nacional de los Bienes del Estado, donde se usaron para la georreferenciación, vértices trigonométricos del IGM, ubicados en el sector Teta Sur de la Provincia de Concepción y el sector de Cayumanqui ubicado en la misma Provincia.

Las coordenadas UTM de la estación base georreferenciada, para Datum SAD-69 fueron las siguientes:

- Norte 5.922.209,711 metros
- Este 675.383,75 metros
- Elevación 59,171(m.s.n.m).

4.3.2.3 Captura de datos. Para la captura de datos, los equipos debieron ser programados de manera que la información generada en esta etapa, pudiese ser posteriormente procesada para las condiciones topográficas locales.

La programación de los equipos GPS, se realizó considerando: los mismos modos de operación (3D), los niveles de error, el registro de los datos según intervalos de tiempo predefinidos, distancia entre instrumentos y ángulos de elevación para la selección de los satélites tanto de la estación base como del instrumento móvil, en el primero se ingreso además, la posición de referencia.

El proceso de captura de datos, consistió en la creación de archivos de los puntos georreferenciados, capturados en forma simultánea por la estación base y el móvil. En el primero, capturando continuamente las posiciones en oficina, y en el segundo, la captura de datos en terreno se realizó registrando la información de interés.

La captura de datos en los levantamientos de la red caminera, fue realizada en modalidad pseudocinemática, modalidad que implica la captura de datos puntuales en movimiento, y programada para registrar un punto en intervalos de tiempo de 5 segundos.

Por otro lado, en las mediciones con modalidad estática (medición de Puntos de Control y PCPs) se capturaron 36 puntos por posición, cada punto fue registrado en intervalos de tiempo cada 5 segundos, con la finalidad de garantizar la eficiencia en la captura de los datos, los

cuales fueron posteriormente promediados en la etapa de postproceso, para obtener una sola posición.

La información registrada con el instrumento móvil, fue periódicamente almacenada en un notebook para mantener libre la memoria del instrumento.

4.3.2.4. Postproceso. El postproceso consiste en corregir diferencialmente los datos generados. Para esto, los archivos digitales, tanto de la estación base como del instrumento móvil, fueron traspasados al software PFINDER, donde previamente ingresada la posición de referencia de la estación base (posición exactamente georreferenciada de la antena de la CBS), se realizó la corrección diferencial, generando archivos digitales corregidos.

En el caso de archivos generados en modalidad estática, que incluyen las mediciones de Puntos de Control y Puntos de Control Planialtimétricos (36 puntos por posición, capturados en intervalos de 5 segundos), los puntos fueron promediados en el software PFINDER, obteniéndose un solo punto en cada posición.

Finalmente, los archivos resultantes corregidos diferencialmente, fueron convertidos a formato ARC/INFO.

4.3.2.5. Confección cartográfica. Posterior al postproceso, se ingresaron los datos GPS a formato ARC/INFO, donde se realizó la integración de estos, con la información digital generada a partir restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.

Con los datos cartográficos integrados, se confeccionó un plano 1:20.000 que fue finalmente impreso en papel.

4.3.3. Determinación de la exactitud en la actualización cartográfica con GPS. Para determinar la exactitud en la actualización cartográfica con GPS, se realizaron tres levantamientos en los que se midieron:

- 4 Puntos de Control Planialtimétricos (PCPs).
- 19 Puntos de Control (PC), claramente identificables en la red caminera.
- Y 18,3 km. de la red caminera (camino principal).

Posteriormente, los resultados, previamente corregidos e integrados a un SIG, fueron comparados.

Se realizaron dos tipos de comparaciones: La primera de ellas consiste en una comparación de los resultados entregados por el GPS con la información generada por el IGM (PCPs), y la segunda de ellas, con la información cartográfica generada de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas (PC y la red caminera).

La comparación de las mediciones estáticas (PCPs y Puntos de Control), consistió en medir las diferencias absolutas entre los puntos homólogos, a partir del Vector Error (VE).

El Vector Error esta definido por:

$$VE = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$$

$$VE = \sqrt{(X_{GPS} - X_{FA})^2 + (Y_{GPS} - Y_{FA})^2}$$

- Donde:
- VE : Vector Error
 - X_{GPS} : Componente Norte de la coordenada geográfica GPS.
 - X_{FA} : Componente Norte de la coordenada geográfica generada a partir de fotografías aéreas.
 - Y_{GPS} : Componente Este de la coordenada geográfica GPS.
 - Y_{FA} : Componente Este de la coordenada geográfica a partir de fotografías aéreas.

Para cuantificar las diferencias obtenidas, se calculó: la Media Aritmética de las distancias absolutas, y finalmente, para determinar la dispersión de estos datos, se calculó el Error Estandar de la Media de los VE.

Las mediciones se realizaron en el software ARC/INFO, con herramientas, que el software es capaz de desplegar. Los resultados fueron posteriormente procesados en una planilla de cálculo.

Finalmente, a partir del levantamiento con GPS de la red caminera (medición pseudocinemática), se realizó una comparación visual entre los resultados cartográficos entregados por el GPS y la información cartográfica del camino generada con fotografías aéreas. La comparación

visual consiste en analizar la eficacia del levantamiento GPS de la red caminera, considerando las características topográficas y presencia de cobertura vegetal. Estas características se recopilaron de los planos digitales: Sectorización por pendiente y de Uso Actual.

4.3.4.1. Ajuste de datos GPS a los planos digitales. A continuación, se presenta una metodología, fácilmente aplicable, para mejorar la exactitud de los datos GPS con los planos digitales (descritos en la sección 4.3.2.), usando un ajuste matemático, obteniéndose, una mejor aproximación gráfica de los datos.

El ajuste de los datos, se realizó modificando la posición de los Puntos de Control GPS. La posición nueva del GPS se obtuvo a partir de la media de las diferencias de cada coordenada.

La exactitud de los datos ajustados es calculada a partir de la media de sus Vectores Error ajustados, donde cada Vector Error ajustado (VEa) esta definido por:

$$VEa = \sqrt{((X_{GPS} - \Delta Xm) - (X_{FA}))^2 + ((Y_{GPS} - \Delta Ym) - (Y_{FA}))^2}$$

Donde :

VEa = Vector Error ajustado(m.)

X_{GPS} = Coordenada Norte del punto GPS (m.)

X_{FA} = Coordenada Norte del punto a partir de FA sin ajuste (m.)

Y_{GPS} = Coordenada Este del punto GPS (m.)
 Y_{FA} = Coordenada Este del punto a partir de
 FA sin ajuste (m.)
 ΔX_m = Diferencia absoluta media de las
 componentes Norte.
 ΔY_m = Diferencia absoluta media de las
 Componentes Este.

4.3.5. Comparación económica en la actualización cartográfica de una red caminera forestal con GPS y fotografías aéreas. La evaluación económica consistió en una estimación y comparación de los costos incurridos con el uso de dos técnicas diferentes para la actualización cartográfica de una red de caminos forestales. La primera de estas técnicas, implica el uso de GPS y, la segunda de ellas, se realiza a partir de fotografías aéreas de formato color pequeño ampliado.

Este estudio, esta referido específicamente, a los levantamientos realizados en el predio Loma Colorada, y proyectados para la superficie total del predio. Ambos, levantamientos, fueron evaluados para la longitud total de la red de caminos del predio que alcanza una extensión de 113,5 km.

En el levantamiento GPS, para determinar el rendimiento, en el proceso de captura de datos, se estimó una velocidad promedio de desplazamiento de 15 km./hora para las distintas condiciones de accesibilidad.

Este cálculo de la velocidad promedio, incluye consideraciones ambientales que restringen el uso de

vehículos motorizados en la temporada de invierno en caminos de tierra existentes en la red caminera, para esto se calculó el desplazamiento de ida y vuelta del operario, caminando a una velocidad de 4 km/hora, y para caminos ripiados a 25 km/hora. Finalmente, la velocidad promedio es producto del rendimiento en desplazamiento obtenido para cada condición de accesibilidad, ponderado por la longitud de camino en cuestión.

Los procedimientos de confección cartográfica, en la fuente de datos generada a partir de fotografías aéreas, incluyen la obtención de una base de datos SIG, es decir, incluyen las actividades de digitalización y depuración de los datos digitales resultantes.

Los valores considerados en la determinación de costos que implica el uso de los equipos, fueron determinados en base a precios de mercado. Las cotizaciones de los equipos se realizó a través de precios entregados por los distribuidores autorizados en Chile para la venta de los equipos usados en el estudio.

La determinación de rendimientos, técnicas, materiales, y procedimientos aplicados en las técnicas de actualización cartográfica, fueron obtenidos en base a encuestas realizadas en los departamentos cartográficos de tres empresas forestales de la provincia Bio Bio, Forestal Mininco S.A. , Forestal Arauco y finalmente, la empresa Forestal Bio Bio.

Dado que las tareas de actualización cartográfica, con el uso de fotografías aéreas tienen una alta dependencia de

los factores climáticos en la etapa de obtención fotográfica, se estudiaron tres escenarios distintos. El primero de ellos, bajo un escenario optimista, en que la obtención de fotografías se lleva a cabo en dos días, un segundo escenario, en que esta actividad dura seis días, y por último un escenario pesimista, en que la obtención de fotografías se lleva a cabo en un plazo de diez días.

Además, la exactitud resultante con técnicas que implican el uso de fotografías aéreas, es altamente dependiente de la base cartográfica usada en el proceso de rectificación con Sketchmaster.

Dentro de las alternativas más usadas como base cartográfica para la rectificación, están las cartas del Instituto Geográfico Militar IGM 1:25.000 y las ortofotos 1:10.000, la primera de ellas permite realizar las labores de actualización cartográfica a un menor costo y con un nivel de exactitud menor que las segundas. Por otro lado, las ortofotos permiten trabajar con un alto nivel de detalle, y con información más actualizada que las cartas, pero su implementación implica un costo mayor.

El tiempo de implementación de estos materiales es variable, ya que depende de diversos factores, como: las condiciones de compra, la demanda actual y de la superficie y ubicación en estudio. Para el caso de la actualización cartográfica de caminos forestales en el Predio Loma Colorada, esta implementación se realiza un día.

El estudio económico, en la determinación de costos además, no incluye las alternativas económicas que implicaría

considerar la disponibilidad cartográfica o de base historial (restituciones anteriores) por parte de la empresa propietaria del fundo Loma Colorada, que permitiría reducir los costos totales al no producirse un gasto en la implementación de este material.

Para el levantamiento de la red caminera a partir de fotografías aéreas se consideró una implementación fotográfica y de bases cartográficas restituidas como cartas IGM u ortofotos, que restringen el estudio a una situación particular en que los costos de son considerados como de actualización cartográfica inicial.

Los resultados obtenidos (costos totales), son calculados antes de impuesto, el uso de alternativas que impliquen una mayor inversión, contribuyen a incrementar los descuentos tributarios, pero a su vez, podría tener ventajas comparativas en términos del manejo tributario, que requiere un análisis económico anexo de tipo administrativo por parte de la empresa forestal, que se escapa del objetivo de este estudio.

La determinación de los costos de cada equipo por unidad de tiempo incluida la depreciación, se realizó utilizando como parámetro principal, los valores de vida útil económica de los equipos (periodo de funcionamiento de los equipos hasta que el valor de reventa de cada equipo es considerado despreciable), este valor fue recopilado del Servicio de Impuestos Internos (SII).

Los resultados obtenidos (teóricos), en los levantamientos, se consideraron eficientes, a partir del supuesto, que se realiza una adecuada planificación antes de la captura de

datos GPS y que el material fotográfico entrega información claramente identificable sin necesidad de realizar un apoyo interpretativo en terreno.



V RESULTADOS

5.1. Exactitud del GPS, en los puntos de control planialtimétricos (PCPs) y puntos de control presentes en el camino.

A continuación en la Tabla 1, se presentan la exactitud obtenida por el GPS (a partir de la media de los VE) en cuatro Puntos de Control Planialtimétricos (PCPs).

TABLA 1. Exactitud a partir de la media de los vectores error, en las mediciones con GPS de cuatro Puntos de Control Planialtimétricos (PCPs) del IGM.

Número de PCPs	VE
	(m.)
1	6,34
2	2,44
3	4,93
4	3,16
VE medio	4.21
Error estandar de la media de los VE	0.36

La Tabla 2, muestra los resultados, en términos de exactitud, de la medición de 19 Puntos de Control presentes en la red caminera posicionados con GPS y comparados con un plano digital, calculada, al igual que en el caso anterior, a partir de la media de los VE.

TABLA 2. Exactitud, a partir de la media de los vectores error, en las mediciones con GPS de diez y nueve puntos de control en un plano digital producto de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.

Número de PC	VE
	(m)
1	36,32
2	30,19
3	25,58
4	25,08
5	29,95
6	31,45
7	12,00
8	34,25
9	13,04
10	15,48
11	19,72
12	23,15
13	15,21
14	13,16
15	14,85
16	13,55
17	20,77
18	28,56
19	23,68
Media de los VE	22.42
Error estandar de la media de los VE	0.35

5.2 Actualización del camino forestal con GPS.

El resultado cartográfico de la actualización del camino principal en el fundo Loma Colorada con GPS, integrado con un plano digital de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas, se entrega en el anexo 1 (plano 1:20.000).

Esta actualización con GPS fue examinada, y se observó una distribución irregular en el registro de los datos en algunos sectores. Esta información, fue comparada con otra fuente cartográfica, y se encontró que la pérdida de señales estaba asociada a sectores con pendientes sobre 90% con exposición Sudoeste.

Firth Y Brownlie (1994), reportan un problema similar con la pérdida de señal usando el GPS para un levantamiento en un sector de topografía irregular.

Por otro lado, las mediciones realizadas bajo el dosel de rodales de *Pinus radiata* sp. con edades diferentes, incluyendo rodales adultos, no mostraron efecto alguno en la captura de datos, lo que contrasta con; Firth y Brownlie(1994) y Luepke (1991), quienes concluyen que las señales de los satélites son interferidas en sectores con presencia de bosques adultos.

5.3 Ajuste de datos GPS a los planos digitales.

$$VEa = \sqrt{((X_{GPS} - 12.7) - (X_{FA}))^2 + ((Y_{GPS} - 16,21) - (Y_{FA}))^2}$$

Donde :

VEa = Vector Error ajustado(m.)

X_{GPS} = Componente Norte del punto GPS (m.)

X_{FA} = Componente Norte del punto a partir de
FA. (m.)

Y_{GPS} = Coordenada Este del punto GPS (m.)

Y_{FA} = Coordenada Este del punto a partir de

En la Tabla 3, se entregan los valores de VEa de los 19 Puntos de Control, y la exactitud obtenida a partir de la media de estos.

TABLA 3. Exactitud, a partir de la media de los vectores error ajustados, en las mediciones con GPS de diez y nueve Puntos de Control en un plano digital producto de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.

Número de Puntos de Control	VEa (m.)
1	16,31
2	16,29
3	11,03
4	13,37
5	10,91
6	11,29
7	12,59
8	16,66
9	8,40
10	5,34
11	17,60
12	7,56
13	9,32
14	7,62
15	20,33
16	11,22
17	4,60
18	13,01
19	7,36
Media de los VE	11,62
Error estándar de la media de los VE	0,37

Los resultados obtenidos en el ajuste de los puntos GPS, permiten ver el desplazamiento en forma gráfica provocado por la reducción del VE en cada uno de estos puntos, y por

lo tanto en la media de los VE.

La Figura 5, muestra el resultado de la integración del GPS con el plano digital, sin ajuste, con una exactitud de 22,42 metros. Por otro lado, la Figura 6 muestra la posición de los datos GPS ajustados, y una exactitud mejorada de 11,62 metros.

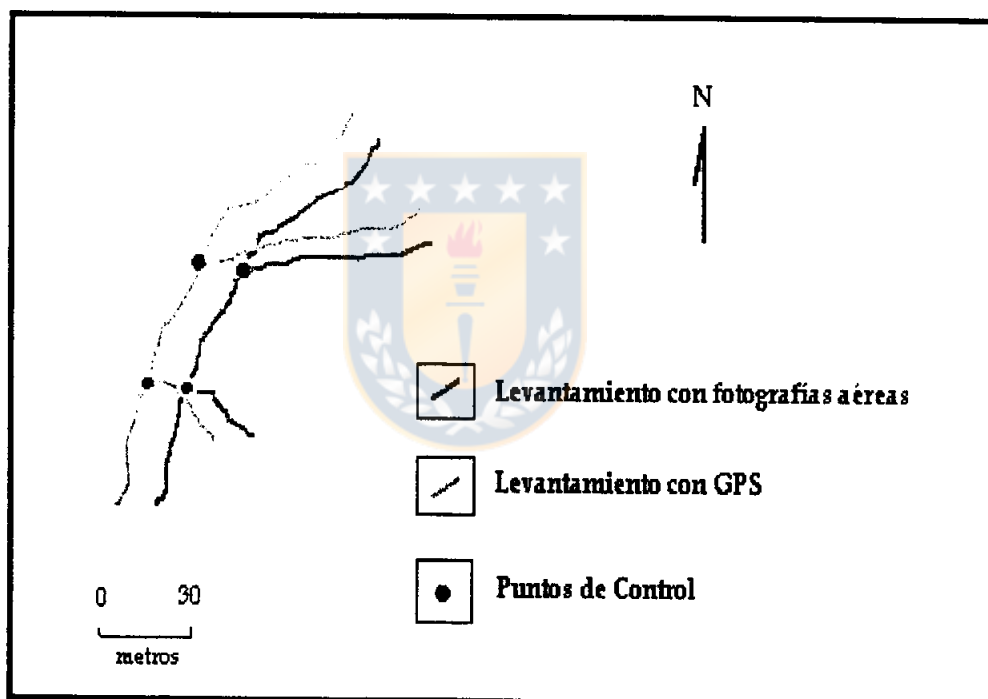


FIGURA 5. Resultados del GPS sin ajuste, con una exactitud de 22,metros con respecto a la información de un plano digital de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.

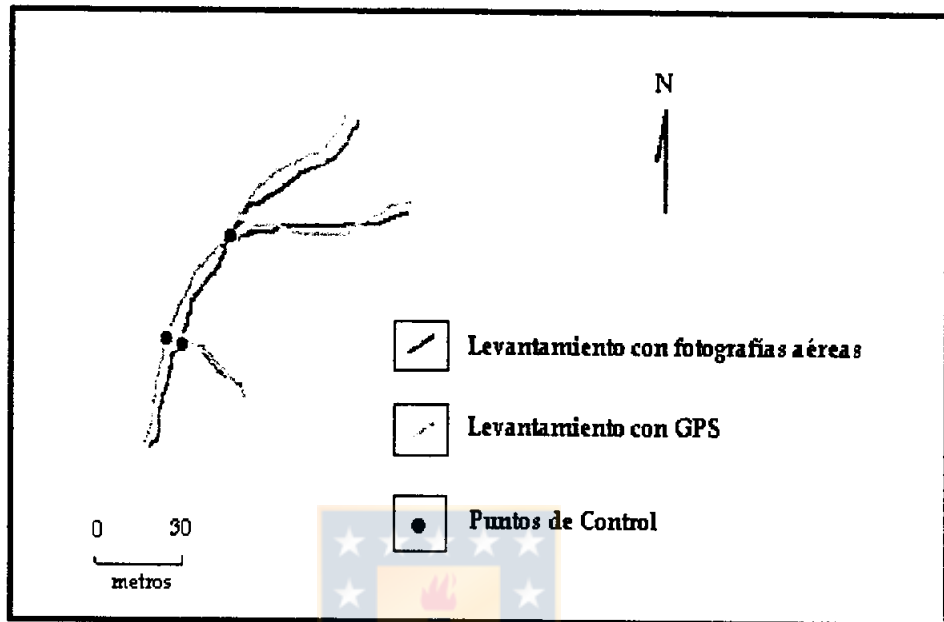


FIGURA 6. Resultados del GPS ajustados, con una exactitud de 11,62 metros con respecto a la información de un plano digital producto de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.

5.4. Comparación económica en la actualización cartográfica de una red caminera forestal a partir de GPS y fotografías aéreas.

5.4.1. **Determinación de costos de actualización a partir de GPS.** A continuación, se presenta una descripción detallada, de los costos estimados para un levantamiento con GPS en la actualización cartográfica de caminos forestales en el fundo Loma Colorada. En la Tabla 4, se presenta un resumen de los tiempos y rendimientos medidos, calculados a partir

de antecedentes recopilados en los levantamientos anteriores, realizados en el fundo Loma Colorada y proyectados para toda la red caminera del fundo.

TABLA 4. Tiempos y rendimientos estimados en la actualización cartográfica de la red caminera forestal con GPS en el fundo Loma Colorada.

Tiempos y rendimientos según actividad	Cantidad
TOMA DE DATOS EN TERRENO	
Tiempo efectivo toma de datos (horas)	15.14
Tiempos muertos* (horas)	0.76
Tiempo total toma de datos (horas)	15.90
Rendimiento efectivo (km/hora)	7.5
Rendimiento total toma de datos (km/hora)	7.1
POSTPROCESO	
Tiempo de corrección diferencial (horas)	2
Rendimiento total postproceso (km/hora)	56.75
CONFECCION CARTOGRAFICA SIG	
Tiempo de procesamiento (horas)	3
Rendimiento Total SIG	37.83
TIEMPO TOTAL (horas)	20.9
RENDIMIENTO TOTAL (km/hora)	5.4

* Los tiempos muertos están dados por el tiempo de transporte, desde y hasta Concepción, incluyendo: viaje por colación, y los tiempos requeridos para preparar los equipos al iniciar la medición y posterior descarga de datos en terreno.

En la Tabla 5, se presenta el costo total calculado para el tiempo requerido en el posicionamiento con GPS, y posteriormente en la Tabla 6, se expone el costo estimado por kilómetro y costo por hora obtenido a partir del costo total del levantamiento.

TABLA 5. costos la actualización cartográfica en una red caminera forestal con GPS en el fundo loma colorada.

Proceso	Item	Unidades	Costo unitario	Unidades	Costo (UF)
TOMA DE DATOS	Operario	UF/hora	0.22	16	3.52
	Viáticos Operario	UF/día	0.15	2	0.3
	Materiales*	UF/día	0.2	2	0.4
	Arriendo PC portátil	UF/día	0.15	2	0.3
	Arriendo móvil	UF/día	1.0	2	2
	Imprevistos	UF/día	0.1	2	0.2
	Movilización	UF/km	0.01	259	2.59
Subtotal					9.31
POSTPROCESO	Arriendo estación base	UF/día	2.0	2	4
	Software	UF/hora	0.06	2	0.16
	Materiales**	UF	0.1	1	0.1
	Operario	UF/hora	0.22	2	0.44
	PC	UF/día	0.15	0.04	0.006
Subtotal					4.866
CONFECION SIG	Operario	UF/hora	0.22	3	0.66
	Arriendo equipos SIG	UF/hora	0.28	3	0.84
Subtotal					1.5
PLOTEO	Planos 1: 10.000	UF/metro lineal	0.6 (UF/metro lineal)	1	0.6
Subtotal					0.6
TOTAL					16.276

Materiales* ; pilas alcalinas.

Materiales**; disquetes, material de escritorio.

Fuente: INCOM S.A., Facultad de Ciencias Forestales (Universidad de Concepción), Centro EULA (Universidad de Concepción), Junio 1997.

TABLA 6. Costos por hora y por kilometro considerando el tiempo y longitud de caminos para el levantamiento GPS.

Item	UNIDAD
Tiempo total del levantamiento (horas)	20.9
Longitud total de caminos (km)	113.5
Costo total del levantamiento (UF)	16.276
Costo (UF/hora)	0.779
Costo (UF/km)	0.184

5.4.2. Determinación de costos en la actualización cartográfica con fotografías aéreas. A continuación en la Tabla 7, se expone un resumen de los tiempos y rendimientos obtenidos en la actualización cartográfica de caminos forestales con fotografías aéreas, considerando tres escenarios distintos denominados como; alternativa A, alternativa B, y alternativa C para el tiempo requerido en la toma de fotografías aéreas, de dos, seis y diez días respectivamente.

Para los niveles de exactitud de las dos distintas bases cartográficas usadas en la rectificación, se utilizan dos escenarios distintos denominados; alternativa 1, y alternativa 2, que implica el uso de una carta IGM escala 1 : 25.000 en el primer caso y una ortofoto 1 : 10.000 en el segundo.

TABLA 7. Tiempos y rendimientos obtenidos con fotografías aéreas en la actualización cartográfica de caminos forestales en el fundo loma colorada, considerando distintos tiempos para la implementación fotográfica.

Item	Escenario optimista	Escenario probable	Escenario pesimista
TIEMPOS (horas)			
Implementación de bases cartográficas *	16	16	16
Implementación fotográfica **	16	48	80
Fotointerpretación	1	1	1
Traspaso a rectificador	2	2	2
Tiempos muertos***	1	1	1
Digitalización SIG	2	2	2
Depuración Y digitalización	1	1	1
Confección cartográfica SIG	3	3	3
Tiempo total (horas)	42	74	106
Rendimiento total (km/hora)	2,70	1,53	1,07

Implementación de bases cartográficas*; Información cartográfica restituida usada para la rectificación: cartas IGM u ortofotos. Implementación fotográfica**; El tiempo en horas, está referido al tiempo efectivo por jornada de trabajo, donde una jornada corresponde a ocho horas por día.

Tiempos muertos***; estos incluyen la elección de material, preparación de instrumentos, posicionamiento de las fotografías aéreas, ajuste de escala, y corrección de inclinación de la fotografía.

TABLA 8. Costos calculados en la actualización cartográfica, con fotografías aéreas, de la red caminera forestal en el fundo Loma Colorada.

Actividad	Item	Unidad	Costo unitario	Cantida d	Costo (UF)
IMPLEMENTACION FOTOGRAFICA	Fotografías aéreas	UF	0.045	17	0.765
	Vuelo aéreo	UF/hora	5.9	2	11.8
Subtotal					12.565
FOTOINTERPRETACION	Operario	UF/hora	0.22	1	0.22
	arriendo estereoscopio espejos	UF/hora	0.003	1	0.003
	Materiales	UF	0.1	1	0.1
Subtotal					0.323
RECTIFICACION	Operario	UF/día	0.22	2	0.44
	Arriendo Sketchmaster	UF/hora	0.05	2	0.1
Alternativa 1	Carta IGM 1: 25.000	UF	1.83	1	1.83
Alternativa 2	Ortofoto 1:10.000		36.8	1	37.8
	Materiales	UF	0.1	1	0.1
Subtotal 1					1.83
Subtotal 2					38.44
DIGITALIZACION	Operario	UF/hora	0.22	2	0.44
	Arriendo software	UF/hora	0.66	2	1.32
Subtotal					1.76
DEPURACION SIG	Operario	UF/hora	0.22	1	0.22
	Arriendo software	UF/hora	0.5	1	0.5
Subtotal					0.72
CONFECCION SIG	Operario	UF/hora	0.22	3	0.66
	Arriendo equipos SIG	UF/hora	0.28	3	0.84
Subtotal					1.5
PLTEO	Planos 1: 10.000	UF/metro	0.6	1	0.6
Subtotal					0.6
TOTAL 1		UF			19.94
TOTAL 2		UF			55.9

TABLA 9. Costos totales de actualización cartográfica con fotografías aéreas, considerando tres escenarios para el tiempo de obtención fotográfica y dos alternativas para la base restituída usada en la rectificación.

Item	Unidades	Escenario Optimista	Escenario probable	Escenario Pesimista
Longitud total de caminos	Km	113.5	113.5	113.5
Tiempo total del levantamiento	horas	42	74	106
Rendimiento	Km/hora	2,70	1,53	1,07
Costo total Alt.1	UF	19.94	19.94	19.94
Alt.2		55.9	55.9	55.9
Costo	UF/hora	0.77	0.34	4.51
		2.15	0.96	0.62
Costo Alt. 1	UF/km	0.176	0.176	0.176
Alt. 2		0.492	0.492	0.492

6.4.3 Comparación económica del GPS y fotografías aéreas en la actualización cartográfica de una red caminera forestal.

A continuación, en la Tabla 10 se exponen los costos totales, de cada fuente de datos. Posteriormente, en la Figura 7. se muestra gráficamente los resultados entregados en la Tabla 10.

TABLA 10. Costos totales de los levantamientos GPS y con fotografías aéreas. Para este ultimo, se consideran las alternativas 1 y 2 correspondiente a dos bases restituidas de diferente exactitud y costo.

Item	Unidad	GPS	Fotografías aéreas	
			Alt. 1	Alt. 2
Costo total	UF	16.276	19.94	55.9
	UF/km	0.143	0.176	0.492
Diferencia	UF		3.664	39.624
	UF/km		0.033	0.349

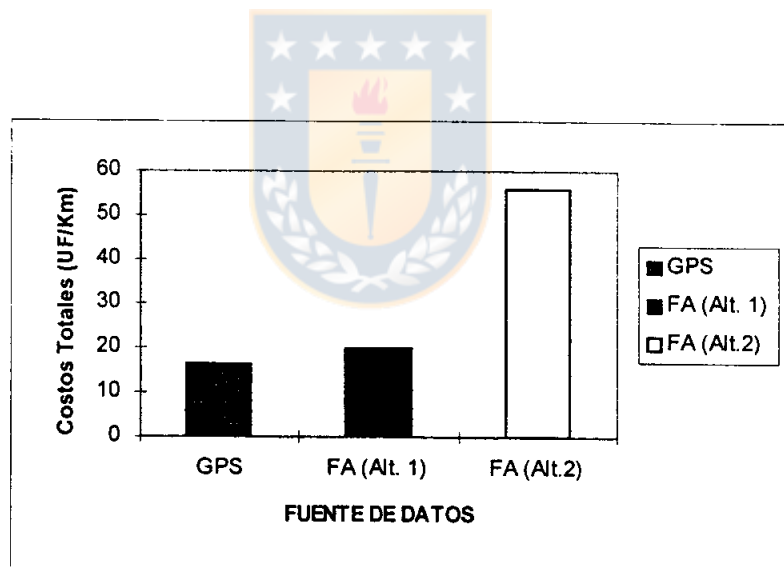


FIGURA 7. Resultado de la comparación económica con GPS y fotografías aéreas, usando para esta última, dos bases restituidas distintas para la rectificación con Sketchmaster (con carta 1:25000 para la alterativa 1 y ortofoto 1:10.000 para la 2).

VI DISCUSION

El estudio de exactitud con GPS en la actualización cartográfica de caminos forestales, entregó resultados variables según la fuente de datos cartográficos usada para la comparación.

La exactitud obtenida con equipamiento GPS, modelo GeoExplorer, marca Trimble Ltda., con respecto a los PCPs del IGM (4,21 metros), coloca al GPS como una herramienta capaz de entregar información con un alto nivel de exactitud, para la actualización cartográfica de caminos forestales, considerando que la cartografía nacional, generalmente, está supeditada a la información cartográfica del IGM.

La exactitud del posicionamiento con GPS en los Puntos de Control (22,42 metros) de los planos digitales generados a partir de restitución y actualizaciones con fotografías aéreas, contrasta con la exactitud obtenida en el posicionamiento de los PCPs del IGM.

Esta inconsistencia entre el IGM y los planos digitales, podría deberse a "errores de arrastre", en tareas de actualización realizadas periódicamente, y causados, especialmente el traspaso de información cartográfica que es altamente dependiente de la habilidad del operario, o una inadecuada selección del sistema de referencia usado.

La exactitud del GPS, con respecto a los planos digitales, desde el punto de vista gráfico, es considerada aceptable para las empresas forestales ya que para la escala comúnmente usada en el sector forestal (1:10.000), éste valor, supera levemente el ancho de la punta de un lápiz.

Por otro lado, en términos matemáticos, ésta diferencia debe ser considerada, ya que afecta directamente la información cartográfica de uso actual del suelo, e indirectamente, a los cálculos económicos determinados a partir de datos cartográficos.

Esta diferencia en términos de integración, puede ser reducida en forma eficiente a través de un ajuste de los datos GPS, fácilmente aplicable, como el usado en el estudio.

El ajuste permitió incrementar la exactitud del GPS hasta en un 50% (11,62 metros), lo que mejora significativamente la integración de ambas fuentes de datos.

La experiencia en el fundo Loma Colorada demostró que el GPS es eficaz para la actualización cartográfica de caminos forestales, aunque, tiene algunas limitaciones técnicas asociadas a la presencia de pendientes con exposición Sudoeste, que interfieren en la captura de señales desde los satélites, lo que se traduce en una distribución irregular en el registro de datos en terreno.

Estas limitaciones técnicas coinciden con lo citado por Firth y Brownlie (1994), quienes encontraron un problema similar con la pérdida de señal, cuando usaban un GPS para un levantamiento en un sector de topografía irregular.

Este problema puede ser aliviado con una óptima planificación, tanto en la selección de las mejores horas de medición (bajo PDOP), como operando con un manejo adecuado de los equipos en terreno, donde se aconseja:

- Confirmar continuamente el registro de la información.
- Usar una antena adicional.
- Reducir velocidad de desplazamiento en sectores de topografía irregular.
- Cambiar la modalidad de operación del equipo (3D a 2D), en presencia de pendientes.

Por otro lado, las mediciones realizadas bajo el dosel de rodales de *Pinus radiata* sp. de edades diferentes, incluyendo rodales adultos, no mostraron efecto alguno en la captura de datos, lo que contrasta con; Firth y Brownlie(1994) y Luepke (1991), quienes concluyen que las señales de los satélites son interferidas en sectores con presencia de bosques adultos.

Cabe señalar, que el GPS es un proyecto en desarrollo, actualmente cuenta con una red satelital de 24 satélites operativos en espera de ser incrementada y mejorada hasta cumplir con una cobertura total a nivel mundial, donde sea posible trabajar de manera más eficiente, entregando valores de PDOP menores que los actualmente disponibles.

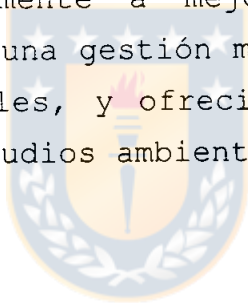
Además, el GPS demostró tener una superioridad económica sobre las técnicas tradicionales en uso, para las condiciones propuestas en el estudio de actualización cartográfica de la red caminera forestal del fundo Loma Colorada.

En la comparación económica, se encontró que los costos totales alcanzados con el uso de fotografías aéreas, son altamente dependientes de la base cartográfica restituida

usada para la rectificación con Sketchmaster, y que los rendimientos obtenidos son altamente dependientes del tiempo de implementación fotográfica.

Desde el punto de vista ambiental, el uso del GPS tiene un efecto directo. Esto puede tener algunas restricciones, ya que para su operación es necesario llevar a cabo actividades en terreno, aportando en alguna medida a los procesos de compactación, contaminación, erosión, y perturbación de la flora y fauna.

Por otro lado, la implementación de esta herramienta puede contribuir indirectamente a mejorar el medio ambiente, permitiendo realizar una gestión más eficiente por parte de las empresas forestales, y ofreciendo un gran espectro de aplicaciones para estudios ambientales.



VII CONCLUSIONES

- El estudio de exactitud con GPS en la actualización cartográfica de caminos forestales, entregó resultados variables según la fuente de datos cartográficos usada para la comparación.
- La exactitud el posicionamiento generado con GPS, en una red caminera forestal, comparando con Puntos de Control Planialtimétricos (PCPs) del IGM, fue de 4,21 metros, y de 22,42 metros con Puntos de Control (PC) presentes en la red caminera, obtenidos de lecturas de planos digitales generados a partir de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas.
- La exactitud del GPS con los planos digitales, puede ser mejorada en un 50% (11,62 metros), ajustando los datos GPS a partir de un método fácilmente aplicable.
- El GPS demostró ser eficaz en la actualización cartográfica de una red caminera forestal, aunque existen limitaciones técnicas asociadas a la presencia de pendientes con exposición Sudeste.
- La comparación económica, en la actualización cartográfica de la red caminera forestal, utilizando GPS y fotografías aéreas, entregó una superioridad del GPS sobre las fotografías aéreas, para las condiciones descritas en el estudio.

VIII RESUMEN

Un estudio de exactitud con Sistema de Posicionamiento Global (GPS) modelo GeoExplorer Trimble, fue llevado a cabo en una red caminera forestal en Concepción Chile.

La exactitud del posicionamiento con GPS, corregido diferencialmente, se determinó comparando con: Puntos de Control Planialtimétricos (PCPs) del Instituto Geográfico Militar (IGM), y Puntos de Control presentes en el camino, de lecturas en un plano digital obtenido a partir de restituciones y actualizaciones con fotografías aéreas. Además, se actualizó el camino principal de la red caminera.

El estudio entregó resultados variables según la fuente de datos cartográficos usada para la comparación: de 4,21 metros para los PCPs y 22,64 metros para los PC.

La actualización con GPS, demostró ser eficaz en la actualización cartográfica de una red caminera forestal, aunque existen limitaciones técnicas que deben ser consideradas, asociadas a la presencia de pendientes con exposición Sudeste.

IX SUMMARY

A precision study of Global Positioning System was carried out in a forestry road network system in Concepcion Chile.

The precision achieved with GPS was corrected using differentials and then determined in comparisons to: Puntos de Control Planialtimetricos (PCPs) of the Geographic Institute (IGM) and Control Points (PC) that are present on the roads, off of readings in a digital plane obtained from aerial photography. Also, the main roads was updated.

The study returned results that vary according to the source of the cartographic data used for the comparison : 4,21 meters for the PCPs and 22,64 meters for PC.

The updating process of forestry road network cartography using GPS proved to be effective.

There are some technical limitations that need to be taken into consideration. this difficulties are related to the presence of slopes facing south west.

X BIBLIOGRAFIA

- 1.- August, P., Michaud. J., Labash. C. y Smith, C., 1994. GPS for Enviromental Applications: Accuracy and Precision of Locational Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. LX (1) : 41-45.
- 2.- Errázuriz, K., y J. González, 1992. Proyecciones Cartográficas. Facultad de Historia Geografía y Ciencias Políticas. Pontificia Universidad Católica de Chile. 29-44.
- 3.- Firth, J., and R. Brownlie, 1994. Accuracy of GPS for updating forest maps- the Marlborough Sounds experience. New Zealand Logging Industry Research Organitation. Report 19 (13), 6 p.
- 4.- Gilbert, C., 1996. How is the accuracy of a GPS Receiver Described?. Center for Advanced Spatial Technologies (CAST). University of Arkansas. Articles GPS N°3, 4 p.
- 5.- Hurn, J. 1989. GPS- A Guide to the Next Utility. Trimble Navigation Ltda., Sunnyvale, CA 94088-3642 USA, 76 p.
- 6.- Kruczynski, L., and A. Jasumback, 1993. Forestry Management Applications : Forest Service Experience with GPS. Journal of Forestry. 9(8) : 20-24.
- 7.- Kirk, A., and C. Merry, 1994. Accuracy Assessment of Elevation Data Sets Using the Global Positioning

System. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. LX(2) : 195-202.

- 8.- Murray, L., Firth, J., and R. Brownlie. 1995. Three forestry applications of the Global Positioning System (GPS) in New Zealand. New Zealand Logging Industry Research Organisation. 40 (2): 21-22.
- 9.- Langley, R., 1991. The GPS receiver: an introduction. GPS World, 2 (1): 50-53.
- 10.- Leick, A., 1990. GPS satellite surveying. Wiley, New York Chichester Brisbane Toronto Singapore.
- 11.- Payne, C., 1982. Navstar Global Positioning System. In: Proceeding of third International Symposium on Satellite Doppler Positioning, New Mexico State University. 2: 993-1021.
- 12.- Perreault, P., 1980. Description of the Global Positioning System (GPS) and the STI receivers. CSTG Bulletin 2, Thecnology and Mission Developments.
- 13.- Roggero, V., 1995. Cartografía y Geodesia Satelital. Lima - Perú. Nuevo Mundo: 150-223.
- 14.- Rutscheidt, E., 1982. The Navstar Global Positioning System. GSTG Bulletin Volume 4, International Activities including Proceedings of Symposium, IAG General Meeting Tokyo. 6 p.

- 15.- Sumpster, C.,1993.Property Surveys Using GPS : The Rocky Mountain Region experience. Journal of Forestry, 91 (8) : 26-27.
- 16.- Wellehof, H., Lichtnegger, H., Hofmann, B., and J.Collins, 1992. Global Positioning System. ISBN 3-211-82364-6 Springer - Verlag Wien New York. 325 p.

