BOLFOR

Proyecto de Manejo Forestal Sostenible
Ministerio de Desarrollo Sostenible y
Medio Ambiente

GUIA GENERAL PARA LA UTILIZACION DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL POR SATELITE (GPS) Y SU APLICACION EN TRABAJOS DE MAPEO

Raymond J. Sabella

BOLFOR es un proyecto financiado por USAID y PL480
en convenio con MDSMA y FONAMA

BOLFOR

Proyecto de Manejo Forestal Sostenible
Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

GUIA GENERAL PARA LA UTILIZACION DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL POR SATELITE (GPS) Y SU APLICACION EN TRABAJOS DE MAPEO

Por:

Raymond J. Sabella

Santa Cruz, Bolivia
1996

Copyright? 1996 by
Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR)
Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (MDSMA)

Las opiniones y juicios expresados en este documento son de exclusiva responsabilidad del autor y no reflejan necesariamente la opinión o políticas del Proyecto BOLFOR, Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente o USAID.

Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR)
Prolongación Beni # 149
Tel: 364704-364696 Fax: 591-3-364319
Casilla # 6204 Santa Cruz, Bolivia

Citación: Sabella, Raymond. 1996. Guía General para la Utilización del Sistema de Posicionamiento Global por Satélite (GPS) y su Aplicación en Trabajos de Mapeo. Santa Cruz, Bolivia

Edición: Daniel Nash G.

_____
Impreso en Editora El País
Dirección: Campero 250
Teléfono 343996
Santa Cruz, Bolivia

Impreso en Bolivia - Printed in Bolivia

CONTENIDO

INTRODUCCION 1

¿Qué es el GPS y cómo se comunica el sistema con los satélites? 2
Distribución de satélites en el firmamento 2
Potencia de las señales de satélite 4
Ubicación de satélites en el firmamento 4
Señales codificadas de satélite 4
Número de posiciones recolectadas en un punto 5
Coordenadas tridimensionales vs. coordenadas bidimensionales 5
Señales afectadas por objetos terrestres 5
Errores fortuitos 6
7

Programación de¡ aparato de GPS
Intervalos de Registro (Logging intervals) 7
Zonas UTM 7
Lecturas de elevación del aparato de GPS 8
Datum 8
Hora UTC 10
12

Tipos de aparatos de GPS
Número de canales 12
Notación vs. base de datos 12
Señales de tipo Carrier-Phase vs. Code-Phase 13
Gauss vs. Maxwell 13

La estación-base 14
Correcciones diferenciales de tiempo-real 14
Coordinación entre el aparato móvil y la estación-base 17

APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA DE GPS 19
SIG y teledetección 19
Aplicaciones de GPS en trabajos de mapeo 21
Zonificación de tipos de bosque, suelo ylo vegetación 21
Delimitación de propiedades, concesiones forestales, comunidades u otros límites artificiales 22
Navegación 22
Georeferenciación de mapas, fotografías e imágenes 22

Consideraciones generales para el mapeo con GPS 25
Exactitud vs. precisión 25
Escala vs. exactitud 27
Límites lineales vs. no-lineales 29

Planificación 30

Biblíograflá 32

Figuras

Figura 1 3
Figura *2* 9
Figura 3 15
Figura 4 16
Figura *5* 20
Figura 6 24
Figura *7* 26
Figura 8 28

Cuadros

Cuadro 1 11
Cuadro *2* 27

GPS: INTRODUCCION

Aunque la tecnología de GPS es relativamente nueva en el campo de las ciencias forestales, ésta ha probado ser de gran beneficio para los profesionales a cargo de decisiones de manejo. Sin embargo, como es el caso de la mayoría de las nuevas tecnologías, la tentación de adoptar "tecnología de punta" a menudo prima sobre la practicidad o efectividad de costos de los sistemas tradicionales.

Debe recalcarse que los aparatos de GPS para el mapeo NO son simplemente herramientas para elaborar mapas. Un mapa no es más que una representación dibujada del mundo real, utilizando un medio apropiado. La tecnología GPS se usa para ubicar puntos, líneas y polígonos en un mapa, de modo que todos los puntos en este mapa estén relacionados espacialmente con la realidad. El GPS es una herramienta muy útil; pero su valor está determinado exclusivamente por el uso dado a esta tecnología. El primer paso para el mejor uso de una tecnología es entender como funciona y de esta manera conocer su verdadero potencial y sus limitaciones.

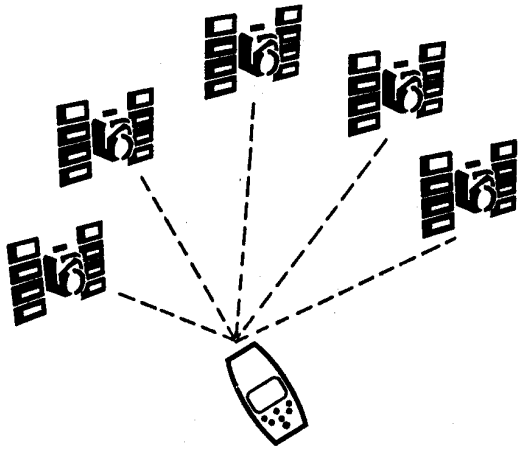
)Qué es el GPS y cómo se comunica el sistema con los satélites?

Las posiciones de GPS se calculan por medio de la triangulación geométrica con tres o más satélites. Esto se logra midiendo el tiempo que tarda en llegar la señal, desde el satélite hasta el aparato de GPS. Cada uno de los 24 satélites de GPS en órbita emite una señal constante hacia la tierra; codificada en esta señal se encuentra la posición del satélite en el firmamento y la hora exacta del día, con exactitud de un billonésimo de segundo. El aparato de GPS y los satélites están equipados con relojes de alta precisión. Cuando el aparato de GPS lee la señal de tiempo, éste calcula la distancia entre el satélite y el aparato midiendo el tiempo que toma la llegada de la señal. Para asegurar el registro de posiciones exactas, los aparatos de GPS deben programarse solamente con señales aceptables, omitiendo el resto. Este proceso se conoce como filtrado (masking en Inglés.)

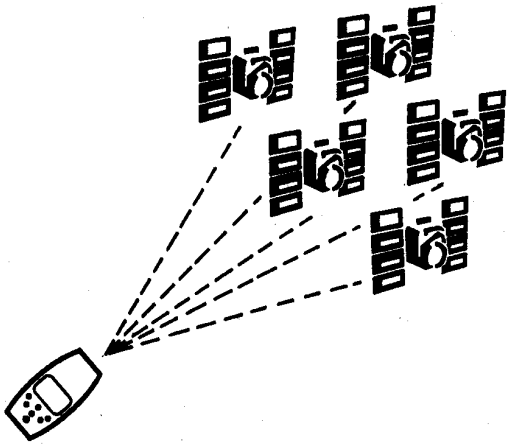
Una vez que se conoce la distancia y la posición de por lo menos tres satélites, el aparato de GPS efectúa los cálculos necesarios para determinar su posición sobre la superficie terrestre. Sin embargo, varios factores afectan la exactitud de esta posición triangulada. A continuación se incluye una descripción breve de cada uno de estos factores, con recomendaciones para evitar, corregir o reducir estos errores.

Distribución de satélites en el firmamento.
Una constelación o distribución adecuada de satélites facilita los cálculos de triangulación. La calidad de la constelación se llama "PDOP". Un valor alto de PDOP indica que, aunque se dispone de un número suficiente de satélites para la recolección de coordenadas, la constelación no es adecuada para la debida triangulación. Los valores de PDOP de 4.0 o menores se consideran buenos; cualquier valor superior a éste se considera inadecuado (ver Figura 1).

RECOMENDACION
Programar el filtro de PDOP del aparato móvil a menos de 4.0. En esta posición, se recolectarán coordenadas sólo cuando la constelación de satélites sea adecuada



Buen "PDOP"



Mal "PDOP"

Figura 1. Un buen PDOP depende de la distribución de satélites en el firmamento.

Potencia de las señales de satélite.
Las señales débiles disminuyen la exactitud de las posiciones trianguladas. Los aparatos de GPS miden la potencia de la señal en términos de la "Proporción Señal-Ruido" o SNR (en Inglés Signal-to-Noise Ratio). Una SNR alta indica la recepción de señales débiles, afectadas por interferencia externa. La interferencia debida a ondas de radio, perturbaciones atmosféricas o fallas de satélite disminuye la potencia de las señales. Los valores de SNR superiores a 6.0 se consideran inadecuados.

RECOMENDACION
Cuando el filtro de SNR del aparato móvil está programado a 6.0, sólo se recibirán señales de alta calidad. Procure no recolectar puntos cerca de antenas de radio, edificios o laderas de montañas

Ubicación de satélites en el firmamento.
Cuando se reciben señales de satélites que se encuentra muy cerca del horizonte, la interferencia atmosférica reduce la potencia de la señal. Las señales de satélites ubicados a menos de diez grados del horizonte se consideran de mala calidad, ya que a mayor distancia de viaje de la señal, menor la potencia de ésta. Asimismo, a menor altura del satélite en el firmamento, mayor la posibilidad de que sus señales "reboten" en edificios o accidentes topográficos.

RECOMENDACION
Programar el filtro de elevación del aparato móvil a 15 grados

Señales codificadas de satélite.
El Departamento de Defensa de los EE.UU. codifica simultáneamente las señales de varios satélites escogidos al azar, lo que resulta en una exactitud de posicionamiento de hasta 100 metros. Los aparatos móviles de GPS no tienen capacidad para corregir este error causado por la codificación; pero con la ayuda de una estación-base localizada en un punto conocido de referencia, el error se puede calcular y corregir en gran parte. La inexactitud de las coordenadas recolectadas con el aparato móvil se puede reducir hasta 10 metros o menos, dependiendo del equipo que se utilice.

RECOMENDACION
Usar coordenas de la estación-base para corregir diferencialmente todas las coordenadas del aparato móvil de GPS

Número de posiciones recolectadas en un punto.
A mayor número de puntos recolectados en una posición, mejor el promedio estadístico que se puede calcular para ésta. Generalmente, el promedio de 200-400 posiciones recolectadas desde el mismo punto dará una posición de alta calidad.

RECOMENDACION
Recolectar por los menos 300 posiciones desde cada punto, evitando mover el aparato de GPS (o su antena externa, si se la utiliza) mientras se recolectan los puntos

Coordenadas tridimensionales (3D) vs. coordenadas bidimensionales (2D).
Cuando la constelación de satélites es deficiente, se reciben coordenadas bidimensionales. Las coordenadas de lecturas 2D proporcionan coordenadas en dos dimensiones - longitud y latitud. Debido a que el usuario del aparato móvil debe introducir la elevación exacta del aparato de GPS, éste necesita comunicarse sólo con tres satélites para obtener una posición. Sin embargo, como generalmente se desconocen los valores exactos de elevación, las coordenadas 2D casi siempre son erróneas y por consiguiente se utilizan rara vez. Cuando el aparato de GPS se encuentra en "Auto", éste obtiene posiciones 3D si están disponibles y 2D si no lo están. Sin embargo, las posiciones 2D se deben considerar *siempre* inaceptables. Las posiciones 3D requieren por lo menos de cuatro satélites para la triangulación, con lo que proporcionan una posición más exacta.

RECOMENDACION
Programar el aparato móvil en la posición Position Fix Mode, para obtener posiciones de tipo manual 3D (no 2D o "Auto"). También asegúrese de que el aparato este programado en "Land", no en "Sea" o "Air"

Señales afectadas por objetos terrestres.
Las señales de satélite pueden rebotar en superficies verticales cercanas, causando la recepción de señales de mala calidad en el aparato de GPS. Las frecuencias de radio pueden interferir con la recepción de señales, al igual que la proximidad de torres de antenas de radio. Asimismo, cualquier objeto que se encuentre entre la antena y el firmamento interferirá con las señales.

RECOMENDACION
Evite recolectar puntos a menos de 20 metros de distancia de edificios, paredes altas o acantilados, así como a 200 metros de torres o líneas de alta tensión. Asegúrese de que el filtro de SNR del aparato móvil esté en 6.0. Evite ubicarse cerca de antenas durante la recolección de puntos

Errores fortuitos.
Las posiciones erradas que se producen de manera fortuita, se deben a fallas momentáneas del aparato de GPS o a perturbaciones atmosféricas. Normalmente, menos del 1% de las posiciones recibidas contiene errores de este tipo y éstas generalmente tienen poco efecto en el valor medio final.

Las posiciones inexactas causadas por errores fortuitos no pueden ser corregidas, aunque la mayoría de éstas se puede eliminar por medio de programas estadísticos del software Pfinder. También, la recolección de por lo menos 300 puntos en todas las posiciones estacionarias generalmente contribuye a disminuir la influencia de la mayoría de los errores fortuitos.

Finalmente, debe mencionarse que la recepción de señales de satélite NO está afectada por factores climáticos (nubosidad, temperatura, lluvia, viento) o por la recolección de señales durante la noche.

Programación del aparato de GPS

Intervalos de Registro (Logging intervals)

El aparato de GPS puede programarse de modo que recolecte coordenadas con una velocidad de un punto cada 1 a 100 segundos; esta velocidad se conoce como Intervalo de Registro de Posición (en Inglés Positional Logging Interval). Los aparatos de GPS generalmente se programan para recolectar coordenadas cada un segundo, la única razón para disminuir la cantidad de coordenadas recolectadas es cuando existen limitaciones de espacio de almacenamiento en el aparato. La recolección de una coordenada por segundo utilizará alrededor de 30 Kb por minuto. Por consiguiente, se debe tener en cuenta el espacio de almacenamiento del GPS cuando se planifique una misión de GPS.

Los Intervalos de Registro de Medidas (en Inglés Measurement Logging Intervals) sirven para determinar la frecuencia con la cual el aparato de GPS registra los datos completos de los satélites con los que se está comunicando. Si bien esta información es de utilidad para la navegación, el aparato de GPS o la estación-base no necesitan estas medidas para obtener datos de posición o hacer correcciones diferenciales. Debido a que estas medidas ocupan una cantidad relativamente grande de espacio en el aparato de GPS, es mejor programar el Measurement Logging Interval a una velocidad mayor que la del Positional Logging Interval.

RECOMENDACION
Programe el Positional Logging Interval a 1 segundo y el Measurement Logging Interval a 5 segundos

Zonas UTM

La elección del sistema de coordenadas geográficas no afectará la calidad de la posición calculada por el aparato de GPS; cualquier sistema que se use producirá resultados igualmente exactos. La decisión sobre el sistema a utilizarse debe basarse en la aplicación de los datos de GPS recolectados. Debido a que en la mayoría de los trabajos se utiliza el sistema de coordenadas geográficas universal de Mercator (en Inglés Universal Transverse Mercator - UTM), es conveniente que los datos de GPS se recolen utilizando dicho sistema, lo cual dará coherencia a los distintos grupos de datos que correspondan al mismo trabajo.

Cuando se utiliza el sistema de coordenadas UTM, es necesario saber en que zona de UTM se trabajará. Bolivia se encuentra en tres zonas distintas de UTM - el uso de una zona errada en el aparato de GPS producirá discrepancias constantes en las posiciones (ej. todas las posiciones estarán "movidas" en la misma dirección).

RECOMENDACION
Use coordenadas UTM en el aparato de GPS. En Bolivia, use las Zonas UTM 19, 20 o 21, dependiendo de su ubicación específica. (Ver Figura 2)

Lecturas de elevación del aparato de GPS

En la mayoría de los aparatos de GPS para mapeo, las lecturas de elevación no son exactas, debido a la naturaleza de la constelación de satélites en el firmamento. Como los satélites no son visibles a menos de cero grados bajo el horizonte, los aparatos de GPS no pueden triangular debidamente la coordenada Z o de elevación; por lo tanto, los valores de elevación deben usarse con mucha precaución.

Datum

Debido a que la tierra no es una esfera perfecta y que más bien tiene forma ovalada, el aparato móvil de GPS necesita "conocer" su ubicación en el globo. La curvatura de la superficie de la tierra difiere ligeramente en distintas partes del planeta. Varios tipos de aparatos de GPS se programan automáticamente en una posición conocida como WGP-64 (cuando se usa UTM), la cual supone que la superficie de la tierra no tiene irregularidades. Sin embargo, como la tierra sí tiene irregularidades, las posiciones calculadas podrían tener variaciones de hasta 100 metros o más, si no se programa el aparato de GPS con el datum correcto. El datum es un grupo de cálculos diseñados para compensar estas ligeras diferencias regionales en cuanto a curvatura. La programación errada del datum puede resultar en discrepancias en las posiciones calculadas en una u otra dirección. En Bolivia, la programación correcta de datum para los aparatos de GPS, cuando se usa UTM, es: South America 1956 (A veces éste datum se denomina Canoa 1956).

RECOMENDACION
En Bolivia, programar siempre el datum en South America 1956 (cuando se usa UTM)

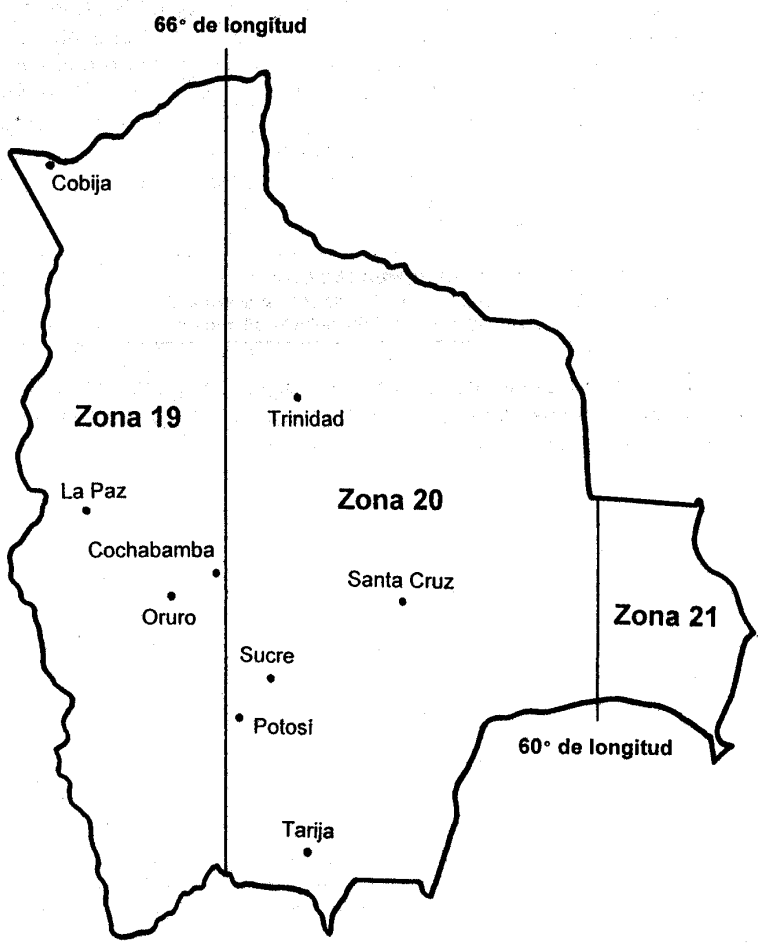


Figura 2. Zonas UTM para Bolivia

Hora UTC

Los relojes internos de todos los satélites y aparatos de GPS están programados en unidades de tiempo UTC (Universal Time Coordinated en Inglés) que se originan en Inglaterra, país que tiene cuatro horas de adelanto con relación a la hora en Bolivia. Los aparatos de GPS deben programarse de modo que muestren cuatro horas de atraso. (Esta variación se usa para que exista coherencia en cuanto a la hora y a la organización de archivos, ya que no se puede cambiar la hora en el reloj interno de los aparatos de GPS).

RECOMENDACION

En Bolivia, programar la función UTC del aparato móvil de GPS con 4 horas de atraso en relación a la hora del reloj interno (-4)

El Cuadro 1 incluye un resumen de los aspectos importantes para la programación de los aparatos de GPS. También se incluyen los valores recomendados que se discuten en los párrafos anteriores.

Cuadro 1 **Resumen de la programación recomendada para el uso de aparatos de GPS en Bolivia**

PDOP MASK (filtro PDOP)	4.0
PDOP SWITCH (interruptor PDOP)	4.0
SNR MASK (filtro SNR)	6
ELEVATION MASK (filtro para elevación)	15 GRADOS (GPS móvil) 10 GRADOS (estación-base)
UTM OFFSET (variación de UTM)	-4
COORDINATE SYSTEM (sistema de coordenadas	UTM
UTM ZONE (zona UTM)	19, 20, 21 (según la ubicación geográfica - ver Figura 2)
DATUM (en UTM)	SOUTH A MERICA '56
POSITIONAL LOGGING INTERVAL (intervalo de registro de posición)	1 SEGUNDO
MEASUREMENT LOGGING INTERVAL (intervalo de registro de medidas)	5 SEGUNDOS
UNIT MODE (tipo de aparato)	ROVER (aparato móvil de GPS) BASE (estación-base)
DYNAMICS CODE (código de navegación)	LAND
POSITION FIX MODE	MANUAL 3D
FILTER CONSTANT (constante de filtro)	0.0050

Tipos de aparatos de GPS

Aunque los aparatos de GPS varían en costo desde menos de mil dólares hasta más de cien mil, existen cuatro características principales que separan a unos de otros: el número de canales, notación vs. base de datos, receptores de fase-código vs. fase-carrier y el tipo de procesador de coordenadas.

Número de canales
Esta es probablemente la distinción más importante, ya que el número de canales determina con cuantos satélites se puede comunicar el aparato simultáneamente. Cada canal del aparato de GPS puede comunicarse con un solo satélite o puede "deambular" por el firmamento en busca de satélites disponibles en un lapso de un segundo. Por lo tanto, un aparato de GPS de 3 canales podrá comunicarse con hasta cuatro satélites a la vez (dos canales fijos en un satélite cada uno, mientras que el tercero se comunica constantemente con otros dos satélites). La mayoría de los aparatos utilizados para mapeo cuentan con 4, 6, 8 o 12 canales. Es importante tener en cuenta que a mayor número de canales en un aparato de GPS, mayor la exactitud de éste.

Notación vs. base de datos
Los aparatos de notación proporcionan posiciones en forma de lecturas en pantalla; y aunque tienen capacidad para almacenar unas cuantas posiciones, no tienen capacidad para almacenar los datos relacionados con cada punto recolectado (tales como "Lindero Noroeste" o "Bosque Seco Tropical"). Aún más importante es el hecho de que los datos de coordenadas recolectados mediante unidades de notación no pueden introducirse en un computador personal que disponga de software para corrección, procesado o representación visual. En este caso lo que aparece en la pantalla es todo lo que se puede obtener.

Sin embargo, si el uso principal que se dará al aparato de GPS es para establecer posiciones iniciales, las cuales no requieren mayor precisión ni el procesamiento adicional de las coordenadas, no es necesario invertir en un aparato más sofisticado.

Por otra parte, los aparatos con bases de datos tienen capacidad no sólo para el ingreso manual de cualquier atributo que se quiera asignar a cada punto recolectado, sino que todas las posiciones y sus datos de atributos asociados pueden introducirse fácilmente en el software de GPS para su posterior procesado.

Señales de tipo Carrier-Phase vs. Code-Phase

Esta característica distingue los aparatos de GPS para mapeo de los aparatos para topografía o agrimensura. El tipo de fase describe la forma en que el aparato de GPS interpreta las señales de satélite. Los aparatos de tipo Carrier-Phase son más exactos y tienen el potencial para obtener una precisión de menos de un centímetro con las correcciones diferenciales apropiadas. Las aplicaciones de este tipo de aparato incluyen trabajos de ingeniería civil que requieren una exactitud menor al centímetro. Estos aparatos no sólo son muy costosos, sino que su uso es difícil. Generalmente los aparatos de tipo Code-Phase son adecuados para trabajos de mapeo forestal ya que las coordenadas diferenciales corregidas que se recolectan con estos aparatos proporcionan una exactitud de 10 metros o menos.

Gauss vs. Maxwell

El tipo de procesador interno de coordenadas con que cuenta un aparato de GPS determina su velocidad y exactitud para el cálculo de posiciones trianguladas. En los últimos años, los procesadores Gauss se han utilizado de forma estándar en los aparatos de GPS; sin embargo, recientemente se están utilizando procesadores de coordenadas Maxwell en aparatos para agrimensura y estaciones-base, con el fin de mejorar la exactitud de posición. Actualmente, los procesadores Maxwell se usan en la mayoría de las estaciones-base, con lo que se logra una exactitud mejor que la lograda con los procesadores Gauss. Si bien las estaciones-base equipadas con procesadores Gauss pueden corregir coordenadas provenientes de un aparato móvil ubicado a 300 km de distancia, las estaciones con procesadores Maxwell pueden hacer estas mismas correcciones con aparatos móviles ubicados hasta a 500 km de distancia.

La estación-base

En condiciones ideales, en las que no existe necesidad de hacer correcciones diferenciales, la mayoría de los aparatos de GPS para mapeo proporcionan una exactitud de posición entre los 30 y 100 metros. Sin embargo, en muchos trabajos se requiere una mayor exactitud. Parte de esta inexactitud no puede corregirse, debido a que es causada por limitaciones intrínsecas del hardware de GPS o simplemente por fallas en el manejo del aparato. Sin embargo, aproximadamente 30 a 70 metros de este error tienen como causa las señales de satélite mismas: codificación intencional por parte del departamento de defensa de los EE.UU. (la cual se conoce como "Selective Availability" o SA). Este tipo de error se puede corregir, mediante el uso simultáneo de dos aparatos de GPS: uno en el campo y el otro con base en un punto de posición conocida. El aparato de GPS de campo se denomina "rover" y el aparato situado en el punto conocido se denomina estación-base.

La estación-base normalmente funciona de manera constante y se mantiene en un sólo lugar, recolectando puntos constantemente durante el tiempo en que el aparato móvil ("rover") funciona. Debido a que el aparato de GPS de la estación-base se mantiene estacionario en una ubicación conocida, el software puede comparar las coordenadas calculadas desde los satélites con su verdadera ubicación. Luego calcula el error o discrepancia de cada una de las señales de satélite en cualquier momento dado. Mientras el aparto móvil se mantenga a una distancia adecuada de la estación-base, éste se comunicará con los mismos satélites y al mismo tiempo que el aparato de la estación-base (ver Figura 3). Cuando las coordenadas del aparato móvil se transfieren al computador de la estación-base, el software puede aplicar estos errores calculados para corregir los errores de coordenadas del aparato móvil. Estas correcciones se conocen como correcciones post-diferenciales. De esta forma, las coordenadas de campo pueden corregirse de una inexactitud de 100 metros o más a una inexactitud de 10 metros o menos, dependiendo de la calidad de los aparatos.

Correcciones diferenciales de tiempo-real

El procesamiento diferencial de tiempo-real (o RTDC en Inglés) se produce cuando el aparato móvil dedica uno de sus canales a la comunicación con la estación-base, al mismo tiempo que recolecta

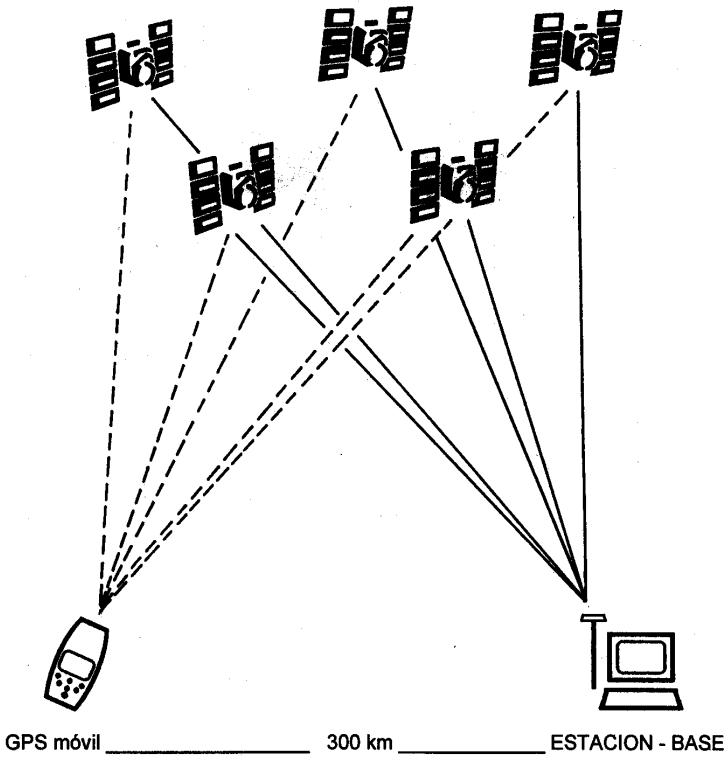


Figura 3. Posiciones relativas de la estación-base y del aparato móvil de GPS.

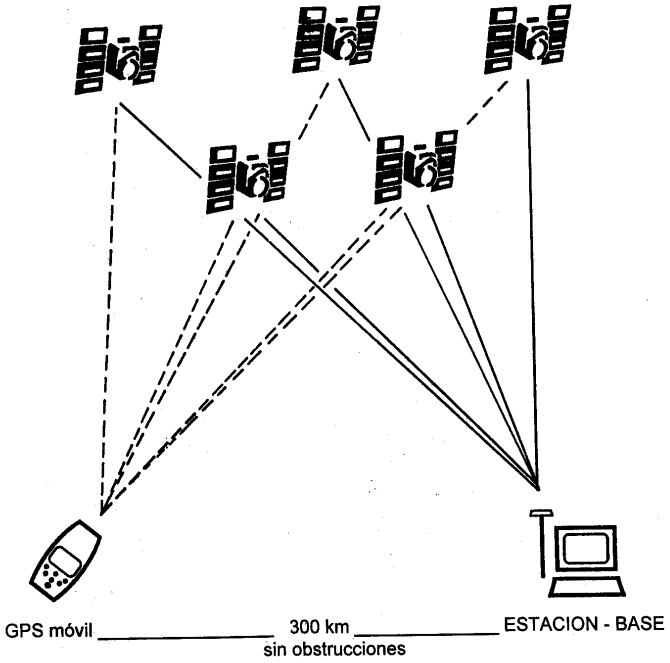


Figura 4. Correcciones diferenciales "Real Time".
La comunicación entre la estación-base y el aparato móvil depende de la existencia de una ruta libre de obstrucciones.

coordenadas en el campo. De esta manera, las coordenadas del aparato móvil pueden ser corregidas por la estación-base mientras se está en el campo (ver Figura 4). Sin embargo, se requieren líneas claras de comunicación con la estación-base, ya que el relieve, árboles o edificios interpuestos pueden bloquear la recepción entre los dos aparatos de GPS. El RTDC es práctico solamente en zonas abiertas, llanas donde el aparato móvil se encuentra a menos de 100 kilómetros de la estación-base; en terrenos boscosos o montañosos, es difícil aplicar el RTDC.

Coordinación entre el aparato móvil y la estación-base

Las correcciones post-diferenciales pueden aplicarse sólo si las señales recibidas por el aparato móvil son también recibidas por el aparato de la estación-base. Si el filtro de elevación del aparato móvil está programado a menor altitud que el de la estación-base o si el aparato móvil se encuentra demasiado lejos de la estación-base, éste recibirá señales de satélites distintas a las de la estación-base. Además si la variación de tiempo es distinta a la de la estación-base (UTC -4), los archivos de coordenadas de la estación-base no corresponderán con los del aparato móvil y por consiguiente las coordenadas del aparato móvil no podrán corregirse.

Debe mencionarse que la distancia entre el aparato móvil y la estación-base tiene cierto efecto en la exactitud de los datos de coordenadas recolectados por el aparato móvil y corregidos por el software de GPS Pfinder. Idealmente, la estación-base debe estar ubicada lo más cerca posible al aparato móvil; sin embargo, como la estación-base debe situarse en un punto conocido y el aparato móvil generalmente funciona en el campo, la proximidad no es siempre posible. Si el aparato móvil está situado a 300 km de la estación-base, los errores causados por la distancia serán considerablemente menores a los errores intrínsecos del aparato móvil. La mejora del aparato de la estación base, equipándolo con un procesador Maxwell, permitirá distancias de hasta 500 km entre la estación-base y el aparato móvil, con un mínimo de errores.

Sería difícil establecer un segundo punto de referencia en un lugar remoto cerca del aparato móvil, ya que el establecimiento de un punto de referencia de primer orden requiere por lo menos de otros tres puntos establecidos de primer orden en las cercanías. Una opción es establecer una estación-base de campo, cercana al aparato móvil, mediante la recolección y promediado de varios miles de puntos en un punto estacionario y usando la cifra promedio como punto de pseudorefe-rencia para la estación-base de campo. Sin embargo, la exactitud de di-cho punto de referencia sería cuestionable - una

estación-base ubicada en punto de referencia con una inexactitud de 3-5 metros, por ejemplo, pasaría este error a todo el trabajo. Este método es recomendable sólo si el aparato móvil está a más de 300 km de la estación-base o si no existen otros puntos establecidos de referencia en la zona.

Finalmente, para garantizar que todas las señales recibidas por el aparato móvil sean recibidas por la estación-base, se prefiere que el aparato de GPS de la estación-base sea en general de mejor calidad que el aparato móvil - nunca al contrario.

RECOMENDACION

Asegúrese de que el filtro de elevación del aparato móvil esté programado a mayor altitud que el de la estación-base. No recolecte puntos, que serán corregidos diferencialmente, a distancias mayores a 300 km de la estación-base (o 500 km si la estación-base cuenta con un procesador Maxwell). Asegúrese de que la variación de tiempo esté programada a UTC -4 (en Bolivia). Asegúrese de que todos los filtros de PDOP y SNR estén programados exactamente igual en el aparato móvil y en el de la estación-base

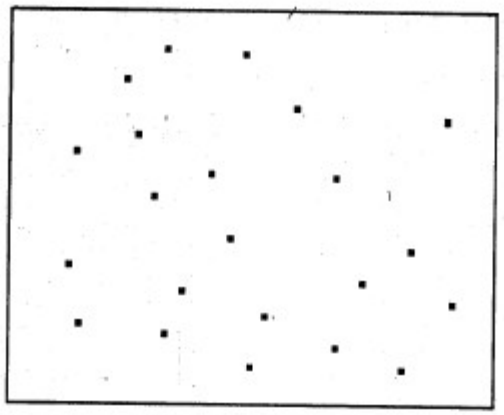
APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA DE GPS

SIG y teledetección

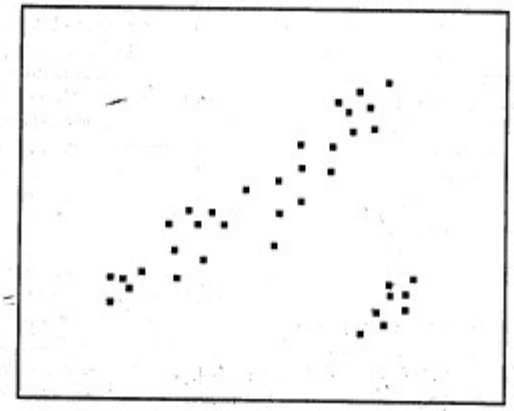
El SIG o Sistema de Información Geográfica es un componente clave para los trabajos que implican el uso de datos de GPS, que van más allá de establecer coordenadas. El SIG aplica los datos de GPS para crear mapas georeferenciados, delimitar linderos, mapear tipos de bosque e inventariar rodales. Normalmente, mientras se recolectan coordenadas en el campo, se toman notas que describen las características de los alrededores, tales como tipos de terreno, características de suelos o tipos de vegetación. Cuando se utiliza un aparato móvil sofisticado, estos atributos pueden introducirse directamente en el aparato junto con la ubicación. Posteriormente, los datos de coordenadas y los atributos pueden importarse al SIG para crear una base de datos espacial.

Por ejemplo al mapear varios rodales de *Euterpe* sp. en un área de estudio, se puede recolectar una coordenada de GPS cada vez que se encuentra la especie. Al mismo tiempo, la altura de cada rodal, densidad, topografía circundante, tipo de suelo, pendiente y especies asociadas pueden introducirse junto con cada una de estas ubicaciones. De esta manera, el GPS tendrá un grupo de coordenadas, cada una con su propia mini base de datos. Una vez que estos datos se importan a un SIG, se puede obtener por ejemplo, una representación gráfica de todos los rodales de *Euterpe* sp. del área de estudio. Estas ubicaciones pueden compararse luego con sus atributos topográficos para ver si existe correlación alguna entre topografía y densidad; o tipo de suelo y altura; o una relación múltiple entre densidad, pendiente, tipo de suelo y especies asociadas (ver Figura 5).

Las coordenadas de GPS se pueden utilizar para trabajos de teledetección. Para este fin, primero se identifican ubicaciones en una imagen de satélite o fotografía aérea de una zona que se puede visitar en tierra, luego se recolectan coordenadas en el terreno con el GPS y éstas se aplican para georeferenciar la foto digitalizada o la imagen de satélite, así como para hacer las correcciones necesarias por la distorsión.



Cada punto de GPS con sus atributos



Selección de puntos de GPS de parcelas con árboles de mara de altura promedio > 20m y con una acidez del suelo > 7

Figura 5

Aplicaciones de GPS en trabajos de mapeo

Frecuentemente, los aparatos de GPS se aplican a los trabajos de mapeo como si fueran herramientas mágicas que se llevan al campo, se aprietan unos botones y se toman coordenadas sin tomar en cuenta la forma en que el instrumento trabaja o lo que éste muestra. Los aparatos de GPS NO son mágicos; son simplemente instrumentos de alta tecnología que detectan señales relativamente débiles provenientes de satélites en órbita y que hacen triangulación algorítmica en base a las señales que reciben. Todo lo demás que el aparato hace o representa gráficamente es simplemente aquello que el operador programa. El viajar al campo con la noción de que el aparato de GPS ya "conoce" los objetivos de la persona que lo maneja, producirá posiciones registradas que no cumplen las normas necesarias para un trabajo serio de mapeo. El GPS es una herramienta entre varias y su implementación no es necesaria, sí se puede demostrar la efectividad en cuanto a costo o la exactitud de otros métodos menos sofisticados. Sin embargo, una vez que se ha decidido implementar esta tecnología, el primer paso es entender *como funciona* y el segundo paso es decidir *como aplicarla*.

Una vez tomada la decisión de aplicar tecnología GPS en un trabajo, es necesario analizar las metas de éste, para determinar el uso de los instrumentos en el campo. La primera fase consiste en determinar el *objetivo* del trabajo. Los objetivos de los trabajos se pueden clasificar en cuatro categorías generales:

* Zonificación
* Delimitación
* Navegación
* Georeferenciación

Zonificación de tipos de bosque, suelo y/o vegetación
Normalmente el producto final de estos trabajos es un mapa que delimite rasgos biofísicos, tales como cuencas hidrográficas, tipos de bosque o tipos de suelo. Normalmente, el esquema de clasificación para cada zona se determina de antemano. Sin embargo, en la naturaleza los límites entre zonas biofísicas no son marcados, sino más bien de transición. Por consiguiente, se deben tomar decisiones sobre la forma en que se determinarán los límites entre las clasificaciones, antes de viajar al campo. Normalmente, en este tipo de mapeo, las zonas de transición se omiten en mapas de escalas de 1:50.000 o mayores y una precisión de treinta metros o más se considera aceptable. Sin embargo,

la inclusión de zonas de transición, en última instancia depende de la escala del producto final.

Delimitación de propiedades, concesiones forestales, comunidades u otros límites artificiales

La principal diferencia entre la zonificación de límites biofísicos y la delimitación de límites artificiales es la naturaleza de los límites mismos: lineales vs. no lineales. La diferencia entre el mapeo de un límite que corre entre dos puntos claros de referencia y el mapeo de un límite que sigue una línea natural, curvada significa una diferencia enorme en cuanto a tiempo y recursos. Por ejemplo, una concesión forestal de forma perfectamente rectangular y que no sigue rasgos naturales, puede mapearse con un GPS simplemente recolectando cuatro coordenadas; lo cual posiblemente tomaría un día de trabajo. También se deben tomar en cuenta de antemano los límites artificiales que colindan con la zona que se mapeará. Por ejemplo si al mapear los límites de una parcela de terreno, se mapearán también inadvertidamente los limites de las parcelas colindantes.

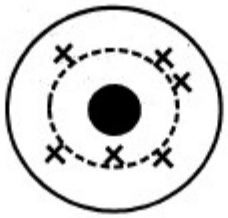
Navegación

La navegación con GPS implica la introducción de una coordenada predeterminada en el aparato de GPS y su uso para localizar dicha coordenada en el campo. Los ejemplos de este tipo de aplicación incluyen la determinación de coordenadas de un punto particular en un mapa topográfico y la búsqueda de dicho punto en el campo; la localización de un árbol en particular en el bosque después de haber obtenido sus coordenadas en una visita anterior al campo; o volver a encontrar una ruta ya recorrida para regresar a un punto determinado. La exactitud requerida para la navegación depende del tamaño y la escala de la ubicación que se desea hallar; si se busca una coordenada que representa a un árbol en una extensión grande de bosque, la exactitud requerida sería de menos de diez metros; si se trata de localizar 100 hectáreas de desmonte, se puede aceptar una inexactitud de 100 metros o mayor. En este caso, el *tamaño* y la *escala* deben considerarse antes de viajar al campo.

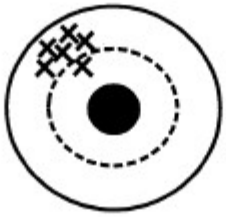
Georeferenciación de mapas, fotografías e imágenes

Se pueden utilizar aparatos de GPS para recolectar coordenadas geográficas en el campo y referenciar imágenes digitalizadas con estas coordenadas. Esto se logra identificando una serie de puntos en una imagen que puede ser fácilmente ubicada en el campo y recolectando coordenadas de esos puntos con el aparato de GPS. Luego, estas coordenadas pueden introducirse en un programa de SIG para georeferenciar la imagen completa y corregir distorsiones. Entre las

consideraciones para este tipo de trabajo se incluyen la precisión y la escala: el tamaño del objeto ubicado en el mapa o imagen determinará la precisión del producto final; por ejemplo, si el objeto es una intersección de caminos de 20 metros de ancho, los resultados tendrán una exactitud de sólo 20 metros.



Dardos lanzados con buena exactitud y mala precisión



Dardos lanzados con buena precisión y mala exactitud

Figura 6

Consideraciones generales para el mapeo con GPS

Los aparatos de GPS pueden agruparse en dos tipos: caros y baratos. Aunque se considera que la diferencia se refiere sólo a la precisión, en realidad ésta radica en las aplicaciones. Los aparatos baratos de GPS pueden ser útiles para determinar la posición relativa de un punto particular, en vez de su tamaño o su área absoluta.

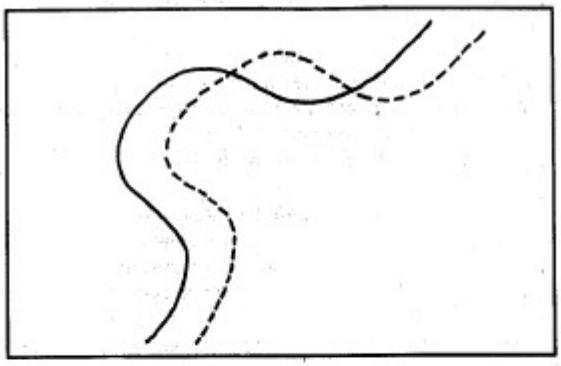
Sin embargo, "no es necesario usar un tractor de oruga para cavar el hoyo para un poste"; es decir que no se necesita un aparato de campo de 12 canales con procesador Maxwell para clasificar tipos de bosque a una escala de 1:250.000. La decisión sobre cuanto se gastará depende del objetivo del trabajo: *la mayor cantidad tolerable de inexactitud en el producto final deberá ser la pauta para la selección del tipo de aparato de GPS que se utilizará.* Al aumentar las necesidades de precisión y exactitud, también aumenta el costo, de manera exponencial.

Exactitud vs. precisión

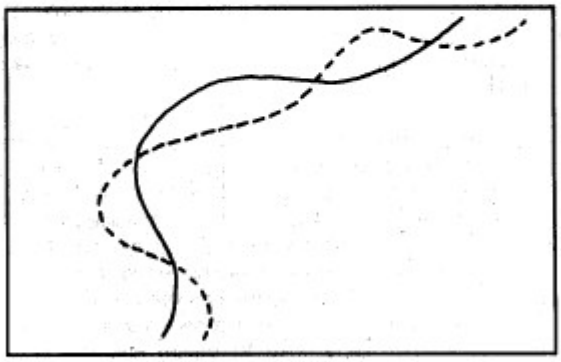
El conocer la distinción entre *exactitud* y *precisión* es importante para la aplicación de GPS en un trabajo. La manera más fácil de demostrar la diferencia entre estas dos variables es visualizar un juego de dardos (ver Figura 6).

Como el *promedio* general de los dardos de la primera figura están casi en el centro, los seis dardos lanzados tienen una *alta precisión*. Sin embargo, los dardos de la figura están *cerca unos de otros*; estos dardos fueron lanzados con alta *precisión*. Si se consideran mejores los resultados exactos o los resultados precisos, es algo que depende del objetivo del trabajo. Si se tiene interés sólo en la relación entre los dardos lanzados, entonces se considerará mejores los dardos lanzados con precisión; a la inversa, si se tiene interés en dónde se lanzan los dardos *en relación a otro elemento* (ej. el blanco), entonces la *exactitud* será la meta. Si todo lo que interesa es un mapa detallado de caminos que no será georeferenciado con otros rasgos (tipos de bosque, casas, etc.), entonces sólo la *precisión* se considerará importante. Sin embargo, si el producto final es un mapa que muestre caminos *en relación* a dichos rasgos, entonces la alta *exactitud* será importante (ver Figura 7).

La meta final es por supuesto lograr precisión y exactitud. Sin embargo, si las relaciones espaciales *relativas* no se consideran tan importantes



Buena precisión, mala exactitud



Mala precisión, buena exactitud

_____ ubicación real del camino

_ _ _ ubicación determinada mediante coordenadas de GPS

Figura 7

como las relaciones espaciales *absolutas*, entonces la meta será la precisión más que la exactitud. El entender la diferencia entre precisión y exactitud ahorrará tiempo y esfuerzo en el campo.

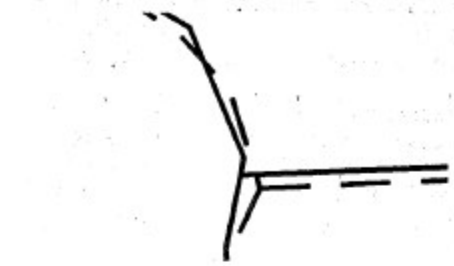
Escala vs. exactitud

En general, cuando se pregunta sobre el nivel de exactitud deseado para los datos de campo, la respuesta es: "menor a un metro o mejor". Esto sería ideal, por supuesto; pero no sólo es muy difícil lograr una exactitud de este tipo (y costoso), sino que en muchos casos es innecesario.

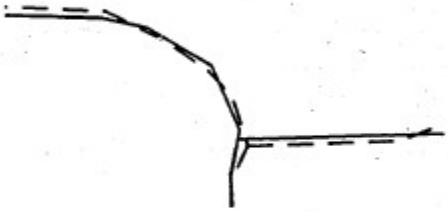
La consideración más importante es que al *disminuir la escala de los mapas*, la *exactitud y la precisión disminuyen* también. (Al disminuir la escala, por ejemplo de 1:10.000 a 1:50.000, los objetos en el mapa se hacen *más pequeños*). La única forma de dibujar un mapa de precisión y exactitud perfectas es dibujándolo a escala de 1:1. Por consiguiente, no es necesario preocuparse por una inexactitud de menos de cinco metros en el aparato de GPS, si el objetivo final del trabajo es un mapa a escala de 1:200.000, ya que es prácticamente imposible indicar adecuadamente puntos, líneas y polígonos en dicho mapa (ver Cuadro 2). Debe notarse que tiene poco sentido obtener una exactitud de menos de 5 metros en un mapa si los datos serán representados por una línea dibujada en un mapa de escala 1:50.000 - la línea dibujada incluirá una inexactitud de 25 metros. Por consiguiente, se debe determinar la escala antes de recolectar datos en el campo (ver Figura 8).

Cuadro 2 Anchos de una línea dibujada a lápiz en mapas de distintas escalas

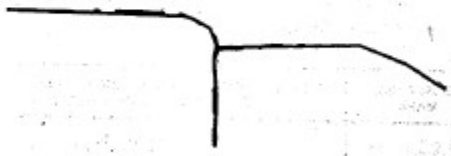
ESCALA DEL MAPA	ANCHO APROXIMADO DE UNA LINEA DE LAPIZ DE 0.5 mm EN UN MAPA A VARIAS ESCALAS
1:1.000	0,5 metros
1:5.000	2,5 metros
1:50.000	25 metros
1:100.000	50 metros
1:250.000	125 metros
1:1.000.000	500 metros



No aceptable a escala 1:1.000



No aceptable a escala 1:50.000



Aceptable a escala 1:250.000

——— ubicación real del camino

– – – ubicación determinada mediante coordenadas de GPS

Figura 8

Límites lineales vs. no-lineales

Cuando se planifican trabajos de delimitación, es importante entender la distinción entre límites *lineales* (artificiales) y *no-lineales* (naturales). Los límites lineales son fáciles de mapear con un aparato de GPS, ya que simplemente se necesita recolectar posiciones en cada una de las esquinas formadas por los límites. Los límites no-lineales son un tema distinto: la relación escala vs. precisión se convierte en una consideración importante. Debido a que es imposible recolectar suficientes puntos como para representar un límite no-lineal completo sin cierto grado de interpolación entre puntos, se debe decidir de antemano cuanta imprecisión se tolerará en el mapa final. Al aumentar las necesidades de precisión, también aumentan el tiempo y esfuerzo requeridos del operador de GPS.

Planificación

Si los treinta satélites de GPS se mantuvieran estacionarios sobre la tierra, la recolección de coordenadas en el campo sería tarea fácil; limitándose a encontrar un lugar sin cobertura y esperar a que el GPS triangule la posición. Lamentablemente, los satélites *no* son estacionarios; se mueven constantemente, cada uno en una órbita separada y su distribución en el espacio cambia constantemente. Durante ciertos períodos del día, será necesario esperar hasta dos horas antes de que exista un número o una constelación apropiada de satélites. La planificación adecuada antes del trabajo de campo ahorrará tiempo y frustraciones al operador del aparato móvil.

Lamentablemente, a menudo se omite el primer paso de los tres necesarios para un trabajo de GPS (Planificación, Recolección y Procesado). El aparato móvil sirve simplemente como una parte del trabajo, el cual incluye la estación-base y los mismos satélites. Cuando los operadores de la estación-base y del aparato móvil (o uno de ellos) desconocen el comportamiento de los satélites, el sistema no puede funcionar.

Las dos consideraciones principales para la planificación de un trabajo son la revisión del equipo y el cronograma. La primera es bastante obvia: todo el hardware y el software debe revisarse de antemano para su adecuado funcionamiento y todo el personal deberá estar debidamente capacitado en el uso de los instrumentos respectivos. El cronograma describe la coordinación entre la estación-base y el aparato móvil. Ambos operadores deben estar al tanto de lo que sucede en el otro extremo de la línea de comunicación, durante el trabajo.

El diseño de un cronograma de misión no implica nada más que determinar el itinerario del aparato móvil; saber dónde y cuándo se visitarán los lugares y saber qué satélites estarán disponibles y cuándo. Esta información se detalla en lo que se llama un *almanaque* GPS, que es un archivo de datos donde se describe donde estará cada satélite en un momento dado. Los almanaques se recolectan automáticamente cuando se reciben señales de satélite con un aparato de GPS - la información está incluida en las señales de satélite. Un programa de software para GPS puede procesar esta información en forma utilizable; por ejemplo, puede imprimir las horas del día en que las constelaciones de satélites son aceptables para la recepción de GPS. Debido a que los satélites se mueven constantemente formando diversas constelaciones, existen ciertas "ventanas de disponibilidad" durante el día, en las que es más fácil recolectar coordenadas. Esta información es especialmente

importante si dos aparatos móviles funcionarán simultáneamente en el campo durante el mismo trabajo.

Como el operador del aparato móvil sabrá cuales son las horas óptimas para la recolección de coordenadas antes de viajar al campo, el operador de la estación-base puede programar el aparato de la base para recolectar coordenadas sólo durante las horas en que funcione el aparato móvil. Debido a que la mayoría del software de la estación-base se puede programar para que recolecte coordenadas automáticamente durante ciertas horas del día, se puede ahorrar una cantidad enorme de espacio de almacenamiento en la computadora de la estación-base y así simplificar la organización de archivos.

BIBLIOGRAFIA

Acquiring and Using Remote Sensing Information for Development of Forest Management Plans. K. Green. Technical Document 15/1995, BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia. 1995.

General Reference GPS Pfinder System. Trimble Navigation Systems, Ltd., Sunnyvale, CA. 1992.

Trimble PFINDER Software Reference, Trimble Navigation Systems, Ltd., Sunnyvale, CA. 1991.

Trimble PFINDER Software User's Guide,Trimble Navigation Systems, Ltd., Sunnyvale, CA. 1991.

Plan Anual de Trabajo No. 2, Abril 1, 1995 - Marzo 31, 1996. BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia. 1995.

Planning National Parks for Ecodevelopment - Methods and Cases from Latin America. K. Miller. Peace Corps ICE Documents, Washington, DC. 1989.

Training Manual PRO XL System. Trimble Navigation Systems, Ltd., Sunnyvale, CA.1995.

ADDENDA

Las descripciones de productos de software y hardware Trimble en el presente manual y el uso de as palabras "Trimble" o "Trimble Navigation Ltd." no implican la promoción de dichos productos por parte de BOLFOR o los organismos financiadores del proyecto.

También debe agregarse que los procedimientos descritos en el presente manual se aplican al uso de productos de software y hardware Trimble y podrían no aplicarse a productos de otras marcas.

ERRATA

1. En la página 4, párrafo 1, línea 7, dice: "Los valores de SNR **superiores** a 6.0..." y debería decir: "Los valores de SNR **menores** a 6.0..."

2. En la página 8, párrafo 3, línea 18, dice: "... **WGP-64**..." y debería decir: "... **WGS-84**..."

3. En la página 8, en el segundo recuadro de RECOMENDACION debería decir: "En Bolivia es de uso oficial hasta el momento el datum South America 56 (PSAD-56) a veces denominado como Canoa 1956. Sin embargo la delección de datum dependerá del tipo de datum utilizado en la cartografía. No es recomendable usar más de un datum por trabajo."

4. En la página 20, Figura 5, el texto de la segunda ilustración dice: "... **árboles de mara**..." y debería decir: "... ***Euterpe sp.*** ..."