

# Cartografía y uso de la tecnología GPS



**BOLFOR**

Proyecto de Manejo Forestal Sostenible  
Financiado por USAID y PL480  
en convenio con el MESP



**PROYECTO DE MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE  
(BOLFOR)**

**Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación  
Universidad Mayor de San Simón  
Escuela Técnica Superior Forestal  
(ETSFOR)**

# **CARTOGRAFÍA Y USO DE LA TECNOLOGÍA GPS**

Santa Cruz, Bolivia  
1999

Copyright01999 by  
Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR)

Las opiniones y juicios técnicos expresados en las publicaciones del Proyecto BOLFOR, son emitidos por los consultores contratados por el proyecto y no reflejan necesariamente la opinión o políticas de la Secretaría Ejecutiva del PL480 o de USAID

Proyecto de Manejo Forestal Sostenible  
(BOLFOR)  
Cuarto Anillo, Av. 2 de Agosto  
Casilla 6204  
Santa Cruz, Bolivia  
Fax: 591-3-480854, Tel: 480766-480767  
Email: [BOLFOR@bibosi](mailto:BOLFOR@bibosi). Scz. Entelnet.bo

Universidad Mayor de San Simón  
Escuela Técnica Superior Forestal  
(ETSFOR)  
Av. Atahualpa (final)  
Temporal Cala Cala, Casilla 447  
Cochabamba, Bolivia  
Fax: 591-042-46956  
Tel: 591-042-92343  
Email: [etsfor@llajta.nrc.bolnet.bo](mailto:etsfor@llajta.nrc.bolnet.bo)

*Citación: BOLFOR; ETSFOR. 1999. "Cartografía y Uso de la Tecnología GPS"*

EDICION: Ramiro Duchén  
DISEÑO: Imprenta El País  
ILUSTRACIONES: *Guía general para la utilización del Sistema de Posicionamiento Global por satélite (GPS) y su aplicación en trabajos de mapeo.*  
Raymond Sabella. 1996.

*El uso de mapas y fotografías aéreas.* Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. Danilo Caranton, s/f

Para la reproducción íntegra o en parte de esta publicación se debe solicitar autorización al Proyecto BOLFOR y/o ETSFOR

Impreso en Editora El País  
Dirección: Cronembold No. 6  
Teléfono 343996 Santa Cruz, Bolivia  
Impreso en Bolivia - Printed in Bolivia

## INDICE

Presentación	
1. INTRODUCCION	9
II. CONCEPTOS GENERALES	10
1. GEODESIA	10
2. TOPOGRAFIA. . .	10
3. CARTOGRAFIA	10
4. MAPA	10
4.1.ELEMENTOS DE UN MAPA	13
5. ACIMUT Y	24
6. DATUM	24
7. GEOREFERENCIACION	25
III. QUE ES GPS (Sistema de Posicionamiento Global)	26
1. EL SISTEMA GPS	27
1.1. Segmento de control	28
1.2. Segmento de espacio	29
1.3. Segmento del usuario	30
2. COMO SE COMUNICAN LOS SATELITES Y LOS RECEPTORES GPS	30
2.1. Triangulación .	31
2.2. Cálculo de distancia GPS-satélite	33
2.3. Conociendo dónde están los satélites	34
3. CONSIGUIENDO DISTINTAS PRECISIONES	37
3. 1 Tipos de receptor GPS	37
3.2. Correcciones atmosféricas	39
3.3. Ubicación de los satélites en el firmamento .	39
3.4. Tiempo de mediciones	40
3.5. Disponibilidad selectiva (S/A)	40

IV CONFIGURACION DEL GPS	45
4.1. Distribución de satélites en el firmamento	45
4.2. Ubicación de satélites en el firmamento	46
4.3. Potencia de las señales del satélite	46
4.4. Intervalos de registro (Logging intervals)	47
4.5. Sistemas de coordenadas .	47
4.6. Datum	48
4.7. Hora UT`C	48
5. APLICACIONES DEL GPS EN ACTIVIDADES FORESTALES	49
5. 1. Zonificación	49
5.2. Delimitación	49
5.2. 1. Delimitación haciendo uso del GPS diferencial	50
5.3. Navegación	52
5.4. Georeferenciación de mapas, fotografías e imágenes	55
5.5. Transformación de coordenadas tomadas de un datum. a otro tipo de datum, con ayuda de GPS	55
5.6. Transformación de coordenadas geográficas a coordenadas planas o viceversa, con el GPS	55
5.7. Determinación del error magnético con la ayuda de un GPS	56
5.8. Determinación de áreas o superficies a partir de coordenadas planas	57
6. PLANIFICACION DEL TRABAJO DE CAMPO	59
7. BIBLIOGRAFIA	61

## **Presentación**

A partir de la promulgación de la Ley Forestal 1700, el uso de instrumentos para la planificación e implementación del manejo forestal sostenible se ha hecho evidente. Estos instrumentos no sólo han facilitado el mejor conocimiento de las características biofísicas de las áreas de trabajo, sino que han disminuido los costos y aumentado los rendimientos de diferentes operaciones de planificación forestal. Una de las herramientas más empleadas en las labores de planificación forestal es el GPS (Sistema de Posición Global). Los mayores usos de esta tecnología corresponden a inventarios forestales, determinación de vértices de concesiones y áreas de corta, establecimiento de Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM), evaluación del aprovechamiento y ajuste de mapas tipológicos. Por lo señalado, es importante que estudiantes y profesionales conozcan mejor el uso de la tecnología GPS, para tomar mejores decisiones orientadas al manejo de los recursos forestales, sobre la base de la información que aporta dicha tecnología. Es por esta razón, que ponemos a consideración de la comunidad forestal esta publicación, fruto de un esfuerzo conjunto entre la Escuela Técnica Superior Forestal y el Proyecto BOLFOR. Esperamos que esta publicación sea actualizada a medida que aparezcan nuevas aplicaciones de la tecnología GPS, por lo que solicitamos a los usuarios hacemos conocer sus experiencias para mejorar, con su aporte, futuras reimpressiones del documento.

John B. Nittler  
Jefe de Equipo  
Proyecto BOLFOR

## **I. INTRODUCCION**

En la actualidad el uso del GPS, constituye una herramienta muy útil dentro las actividades del sector forestal, en lo que es la zonificación de tipos de bosque, delimitación, navegación, georeferenciación y más que todo para la supervisión, control y seguimiento, tanto para el Estado como para los usuarios del bosque. Aunque la tecnología de GPS es relativamente nueva en el campo de las ciencias forestales, esta ha probado ser de gran beneficio para los profesionales a cargo de decisiones de manejo.

Pero lastimosamente los aparatos de GPS, se están utilizando como si fueran herramientas mágicas que se llevan al campo, se aprietan unos botones y se toman coordenadas sin considerar la forma en que el instrumento trabaja o lo que éste muestra.

Los receptores de GPS, son simplemente instrumentos de alta tecnología, cuyos precios varían de caros a baratos, en función de la precisión. Cuando uno decide adquirirlos, el primer paso es entender cómo FUNCIONAN y el segundo es cómo APLICARLOS.

## **II. CONCEPTOS GENERALES**

### **1. GEODESIA**

De acuerdo a Castañeda, 1998, la geodesia es una ciencia que define la posición de un punto sobre la superficie de la tierra teniendo en cuenta su curvatura. Está determinada por un par de coordenadas geográficas denominadas Latitud y Longitud.

### **2. TOPOGRAFIA**

Técnica que se dedica a la representación del relieve y la medición de la superficie de la tierra, de extensiones relativamente pequeñas (hasta 111 km), considerándola como plano (Gayoso, 1995).

### **3. CARTOGRAFIA**

Se define como la técnica de representar en forma convencional parte o toda la superficie terrestre sobre un plano, utilizando para este fin un sistema de proyección y una relación de proporcionalidad (escala) entre terreno y mapa. Esta ciencia transforma la información geodésica en coordenadas planas (NE) por medio de la proyección cartográfica seleccionada. Efectúa una revisión al producto fotogramétrico y una vez aceptado procede a dibujarlo y reproducirlo (Castañeda, 1997).

### **4. MAPA**

Según el Centro Interamericano de Fotointerpretación (citado por Castañeda, 1997) define como mapa a la representación de la superficie terrestre a la que se le agrega rótulos para la identificación de los detalles más importantes.

Caranton, sf, afirma que un mapa es un documento de trabajo que presenta una visión global de los fenómenos naturales o **culturales** de un espacio, lo que permite establecer relaciones que, aunque no aparezcan de manera explícita en él, sin embargo, estas obedecen a una lógica geográfica.

Algunos tipos de mapas, según Castañeda 1997, son:

**Plano**, es un mapa a escala grande en el cual se representan elementos a detalle, como un puente, una manzana, un predio, entre otros.

**Mapa topográfico**, es un mapa a escala media y pequeña en el cual se muestra toda la información de la superficie terrestre, dentro de los límites de la escala, sin resaltar ninguno de ellos. **Mapa base**, es un mapa usado como fuente para producir otro. Como ejemplo al producir un mapa temático se utiliza un topográfico como base.

**Mapa temático**, es un mapa topográfico en el cual se resalta algun información o fenómeno, indicando su ubicación y distribución. Por ejemplo mapa catastral, tipos de bosques, tipo de suelos, etc, para fines forestales son los mapas de mayor importancia. **Carta**, es un mapa a escala muy pequeña usado en la **navegación** marítima y aérea.

**Fotomapa**, es un mosaico controlado al cual se agrega cierta información, como escala, cuadrícula y algunos rótulos.

**Ortofotomapas**, es un mapa producido por rectificación diferencia de varias fotografías, por medio de la cual se transforma 1 proyección central, de la fotografía, en una proyección ortogonal, el mapa.

#### 4.1. Elementos de un mapa

De acuerdo a Castañeda, 1997, en la producción de un mapa se debe tener en cuenta que la información presentada garantice la precisión correspondiente a su escala y además mostrada de tal forma que sea agradable y comprensible al usuario. Los elementos de un mapa son:

- De precisión o geométricos, los elementos de precisión permiten tan fío, representar los objetos del mapa dentro de los parámetros de precisión establecidos por la escala. Los elementos más importantes son:

Sistema de proyección

Cuadrícula

Escala

Coordenadas

Puntos de control

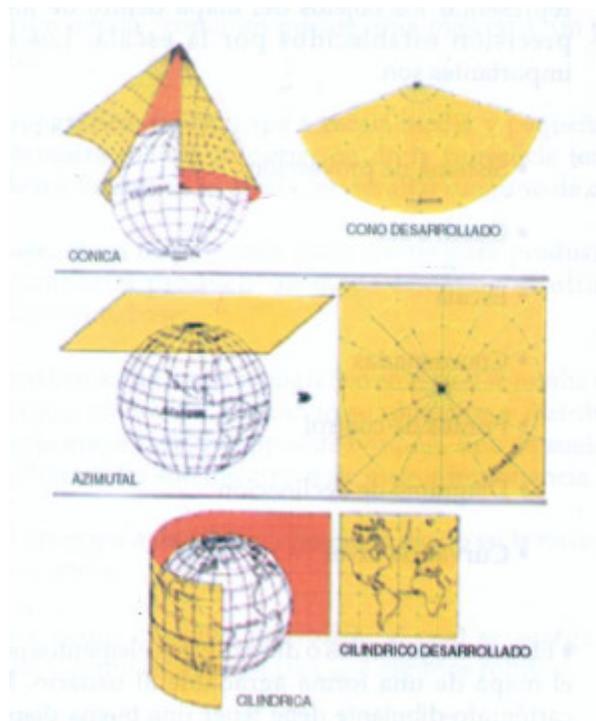
Diagrama de declinación

Curvas de nivel

- Elementos artísticos o dibujo, estos elementos permiten mostrar el mapa de una forma agradable al usuario. Para lograrlo el : al cartógrafo-dibujante debe tener una buena disposición artística la que le permita efectuar una perfecta combinación de los elementos tal, que componen el mapa.

#### 4.1.1. Sistema de proyección

Una proyección cartográfica, según Caranton, sf, es un sistema de representación de la superficie curva de la tierra sobre un plano. Para lograr esto, se utiliza una figura geométrica un plano que puede ser un cono, un cilindro, etc. (ver figura siguiente). La selección de la superficie sobre la cual se hace la proyección depende del uso que se le vaya a dar al mapa y de la situación geográfica del área a cartografiar.



#### 4.1.2. Cuadrícula

Según el Centro Panamericano de Estudios e Investigación Geográficas, sf, la cuadrícula son una serie de líneas rectas horizontales y perpendiculares equidistantes entre sí, que al interceptarse forman ángulos rectos y consecuentemente cuadrados perfectos, donde cada cuadrado, en un mapa topográfico, equivale a 1 km<sup>2</sup> de terreno.

Tomando en cuenta la última referencia, que las cuadrículas representan 1 km<sup>2</sup>, por lo tanto contando el número de cuadrados enteros o partes de cuadrado presentes en un polígono de interés de podrá establecerla superficie sea a km<sup>2</sup>, m<sup>2</sup> o ha.

Los tipos de cuadrículas que se pueden encontrar en un mapa e la son:

**Principal**, es aquella que está referenciada a la proyección y el esferoide (Datum) usado en un país o zona. Por ejemplo en Bolivia se emplea la proyección UTM (Universal Transversa de Mercator) y el datum WGS-84.

**Secundaria**, cuando el mapa tiene como referencia otro tipo de proyección y/o esferoide.

**Traslapo**, existen áreas que se extienden más allá de los límites normales. En la proyección UTM se extiende 30 minutos después de los límites de cada zona, el área comprendida entre esta cuadrícula es común a los dos hojas del mapa, es decir existe un traslape por medio del cual se permite ajustar gráficamente los elementos sin necesidad de operaciones matemáticas adicionales.

#### **4.1.3. Escala**

Castañeda, 1997, define la escala como la relación existente entre una distancia horizontal del terreno y su correspondiente de la carta o mapa. La selección de la escala estará en función de los tipos de datos y de la precisión con que fueron establecidos.

La escala de un mapa puede expresarse de dos maneras: numérica y gráfica. En la numérica, el numerador siempre es la unidad y el denominador las veces que se ha reducido la unidad de distancia de un terreno para ser representado en el mapa. Mientras mayor sea el denominador, menor es la escala del mapa, es decir, que la tas representación del terreno es más reducida.

Por ejemplo, un mapa a escala 1:1000 significa que 1 unidad de distancia en el mapa representa a 1000 unidades de distancia en el terreno. Esta relación matemática se puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{1}{E} = \frac{d}{D}$$

Donde: E, son las veces en que se ha reducido una distancia para ser representada en un mapa; D, es la distancia real en el terreno; y d, es la distancia correspondiente en el mapa.

Ejemplo: Las dimensiones de una concesión forestal son 2000 x 3000 m, y se quiere representar la misma en un papel de 20 x 30 cm. De tamaño. ¿Cuál será la escala del plano y cuántas veces se reducirán las distancias en el terreno?

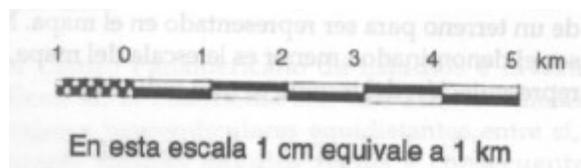
Primero, todas las medidas las ponemos en las mismas unidades  
Segundo, aplicamos la relación anterior

Tenemos:

$$\begin{aligned} d &= 20 \text{ cm} \\ D &= 200000 \text{ cm} \\ E &= ? \\ \frac{1}{E} &= \frac{20\text{cm}}{200000\text{cm}} = \frac{1}{10000} = 10000 \end{aligned}$$

El anterior resultado indica que se tiene que reducir en 10000 veces la distancia sobre el terreno para poder insertar en una hoja de papel de 20 cm, por lo tanto la escala será 1:10000.

La escala gráfica (Caranton, so se dibuja en los mapas para facilitar la medición de distancias; esta se compone de segmentos graduados que representan distancias en el terreno, por ejemplo, la escala 1:1.000.000 se puede representar de la siguiente manera:



La escala gráfica permite establecer la escala real del mapa con la escala de una copia, ampliación o reducción de la misma. El escalímetro también es una escala gráfica.

#### **4.1.4. Coordenadas**

De acuerdo al Instituto Panamericano de Geografía e Historia, el principio fundamental de la cartografía consiste en el establecimiento sobre la superficie de la tierra de un sistema de coordenadas al que puede referirse cualquier punto de la misma, teniendo las principales direcciones de referencia que son: Norte, Sur, Este y Oeste

En otras palabras las coordenadas son un conjunto de líneas horizontales y verticales que permiten localizar un punto sobre la superficie de la tierra y le asigna un valor determinado, para ello se emplean coordenadas geográficas (y, k), planimétricas\*o planas (N, E) o coordenadas cartesianas (X,Y)

**Coordenadas geográficas**, es un sistema que se fundamenta en la rotación de la tierra, considerando a la misma como una esfera que gira de Este a Oeste, alrededor de un eje cuyos extremos están los polos (polo norte y polo sur). El sistema está compuesto por una red de líneas imaginarias trazadas sobre la superficie de la tierra denominadas paralelos y meridianos (Caranton sf)

El mismo autor indica, que el ecuador terrestre divide a la tierra en dos hemisferios: hemisferio norte y hemisferio sur. A su vez, el meridiano de Greenwich divide a la tierra en hemisferio oriental y occidental.

**Paralelos (latitud)**, son círculos trazados sobre la esfera de la tierra paralelamente al ecuador, hacia el polo norte y polo sur. Estos círculos van haciéndose más pequeños a medida que se acercan a los polos. Latitud (y), es la distancia angular entre un punto sobre la tierra y el ecuador. Se mide en dirección Norte o Sur a partir del paralelo (ecuador) desde 0" hasta 90".

**Meridianos (longitud)**, los meridianos son círculos mayores trazados sobre la esfera de la tierra que pasan por los polos y son perpendiculares al ecuador. Los meridianos se trazan .

A partir de un meridiano de origen o referencia, por convención internacional el meridiano que pasa por el observatorio de Greenwich (Inglaterra) es el meridiano de origen ( $0^\circ$ )

Longitud, es la distancia angular que hay entre un punto de la superficie de la tierra y el meridiano de Greenwich. Se mide en dirección Este u Oeste a partir de dicho meridiano, desde  $0^\circ$  hasta  $180^\circ$ .

Los paralelos y meridianos conforman la red de coordenadas geográficas y constituye la base de la cartografía ya que con ella se puede determinar cualquier punto sobre la tierra.

Las coordenadas geográficas tienen como unidades los grados, minutos y segundos, cuando se esté trabajando en un mapa, lo primero que tiene que revisarse es el sistema de coordenadas. Si son geográficas y desea realizar operaciones entre coordenadas geográficas tiene que conocer las equivalencias entre distancias angulares y lineales, sólo de esta manera podrá establecer, por ejemplo, distancias entre dos puntos. Las coordenadas geográficas para Bolivia están entre los:  $9^\circ38'$  y  $22^\circ53'$  de latitud Sur y los  $57^\circ25'$  y  $69^\circ38'$  de longitud Oeste. Por lo tanto, toda información tomada con un receptor de GPS debe estar en ese marco de referencia si es que nos referimos a nuestro país.

Relación entre distancias angulares y lineales, Caranton, sf, indica que la tierra no es una esfera perfecta, debido a su achatamiento en los polos. Pero para mediciones aproximadas se puede considerar a la tierra como una esfera. Para cálculos de distancias se pueden emplear las siguientes equivalencias, válidas solamente para distancias cortas y puntos que están cerca del ecuador, puesto que a medida que nos alejamos del ecuador las distancias se reducen:

$1^\circ = 111,1 \text{ km}$

$1' = 1852 \text{ m}$

$1'' = 30.8 \text{ m}$

Ejemplo de aplicación de la relación entre distancias angulares y lineales:

- Determinar la distancia en km existente entre Cobija (capital del departamento de Pando) y Riberalta considerando las equivalencias citadas anteriormente:

1. Coordenadas geográficas de Cobija:  $11^{\circ}01'37.5''$  S y  $68^{\circ}45'13.9''$  W  
 Coordenadas geográficas de Riberalta:  $10^{\circ}59'53.7''$  S y  $66^{\circ}04'23.6''$  W
2. Determine la diferencia angular de los datos citados tanto para latitud y longitud:

$$\begin{array}{r} 11^{\circ} 01' 37.5'' \\ - 10^{\circ} 59' 53.7'' \\ \hline 00^{\circ} 01' 43.8'' \end{array} \qquad \begin{array}{r} 68^{\circ} 45' 13.9'' \\ - 66^{\circ} 04' 23.6'' \\ \hline 02^{\circ} 40' 50.3'' \end{array}$$

3. Transformar según equivalencias en km.

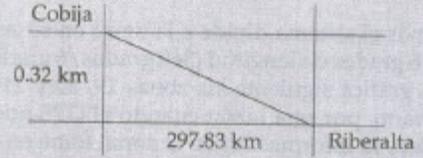
$$\begin{aligned} 00^{\circ} * 111,1 \text{ km} &= 0 \text{ km} \\ 01' * 1852 \text{ m} &= 1852 \text{ m} = 1,852 \text{ km} \\ 43.8'' * 30.8 \text{ m} &= 1349.04 \text{ m} = 1,349 \text{ km} \end{aligned}$$

$$1,852 + 1,349 \text{ km} = 0.32 \text{ km en latitud}$$

$$\begin{aligned} 02^{\circ} * 111,1 \text{ km} &= 222,2 \text{ km} \\ 40' * 1852 \text{ m} &= 74.080 \text{ m} = 74,08 \text{ km} \\ 50.3'' * 30.8 \text{ m} &= 1549.24 \text{ m} = 1,549 \text{ km} \end{aligned}$$

$$222,2 + 74,08 = 1,549 \text{ km} = 297,83 \text{ km de longitud}$$

4. Las diferencias determinadas son para longitud y latitud, y lo que nos interesa es la distancia en línea recta entre ambas poblaciones



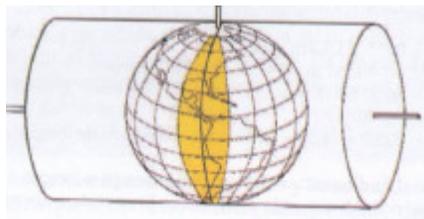
Para determinar esta distancia aplicamos el teorema de pitágoras:

$$D = \sqrt{(0.32)^2 + (297.83)^2} \quad D = \sqrt{0.1024 + 88702.7089} \quad 0.5$$

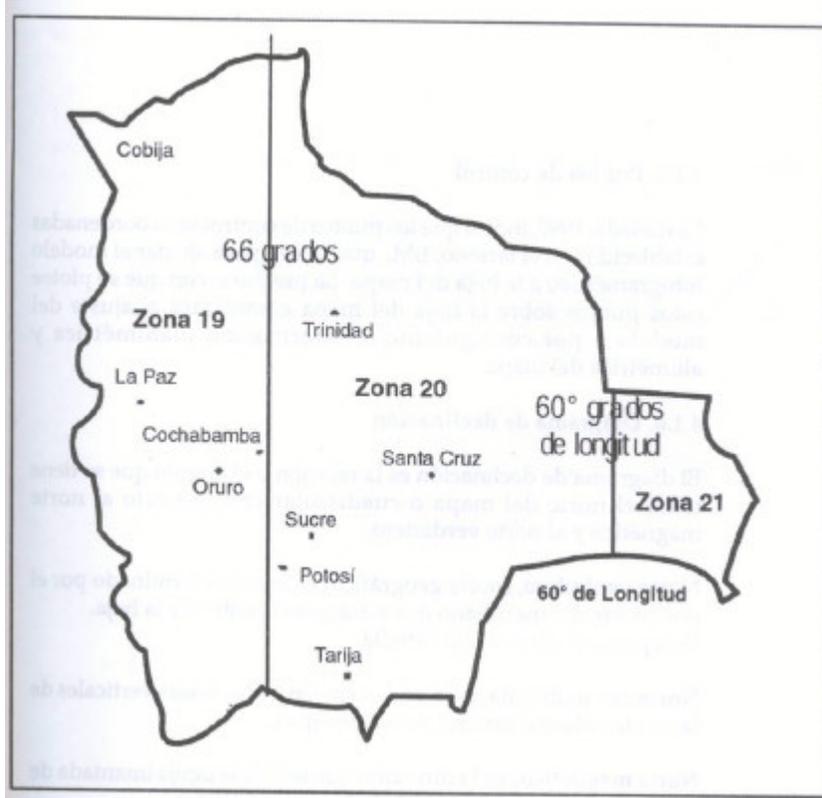
$$D = 297.8 \text{ km}$$

**Coordenadas planas**, la proyección de la tierra no puede hacerse directamente sobre una superficie plana sin que sus componentes sufran deformaciones. Con el fin de reducir al máximo deformaciones que se presentan en los ángulos, distancias y de la tierra sobre una se proyecta la superficie curva geométrica utilizando un sistema de proyección que permita tipo de coordenadas diferente a las geográficas, las cuales conformadas por una serie de líneas verticales (Y) y horizontales (X) que al intersectarse forman un retículo (Caranton, sf). La unidad de medida de las coordenadas planas es el sistema métrico decimal, por esta razón con estas coordenadas se pueden realizar operaciones matemáticas directas sin realizar transformaciones, como es el caso de las coordenadas geográficas.

En nuestro país se utiliza la proyección UTM (Universal Transversa de Mercator) para la generación de coordenadas planas. sistema de proyección se genera a partir de un cilindro transversa (transversal o perpendicular al eje central de la tierra), como se muestra en la figura siguiente:



Además el sistema divide a la tierra en 60 zonas cubriendo, zona 6 grados de longitud (360 grados/ 6 grados). Como se destaca en la gráfica siguiente las zonas 19, 20 y 21 cubren el territorio boliviano, por esta razón cuando el GPS que se está empleando requiere la información de la zona, tome en cuenta en qué parte del país se encuentra. 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).



#### **4.1.5. Puntos de control**

Castañeda, 1997, indica que los puntos de control son coordenadas establecidas en el terreno, BM, que sirven para ajustar el modelo fotogramétrico a la hoja del mapa. La precisión con que se plotee estos puntos sobre la hoja del mapa garantizará el ajuste del modelo y por consiguiente la información planimétrica y altimétrica del mapa.

4.1.6. Diagrama de declinación El diagrama\*de declinación es la relación o el ángulo que se tiene entre el norte del mapa o cuadrícula con respecto al norte magnético y al norte verdadero. Norte verdadero, (norte geográfico) es aquel determinado por el polo norte del meridiano que pasa por el centro de la hoja. Es representado por una estrella. Norte de cuadrícula, es la prolongación de las líneas verticales de la cuadrícula que aparecen en los mapas. Norte magnético, es la dirección que señala la aguja imantada de una brújula. Este norte es señalada por una flecha.

#### **4.1.6 Diagrama de declinación.**

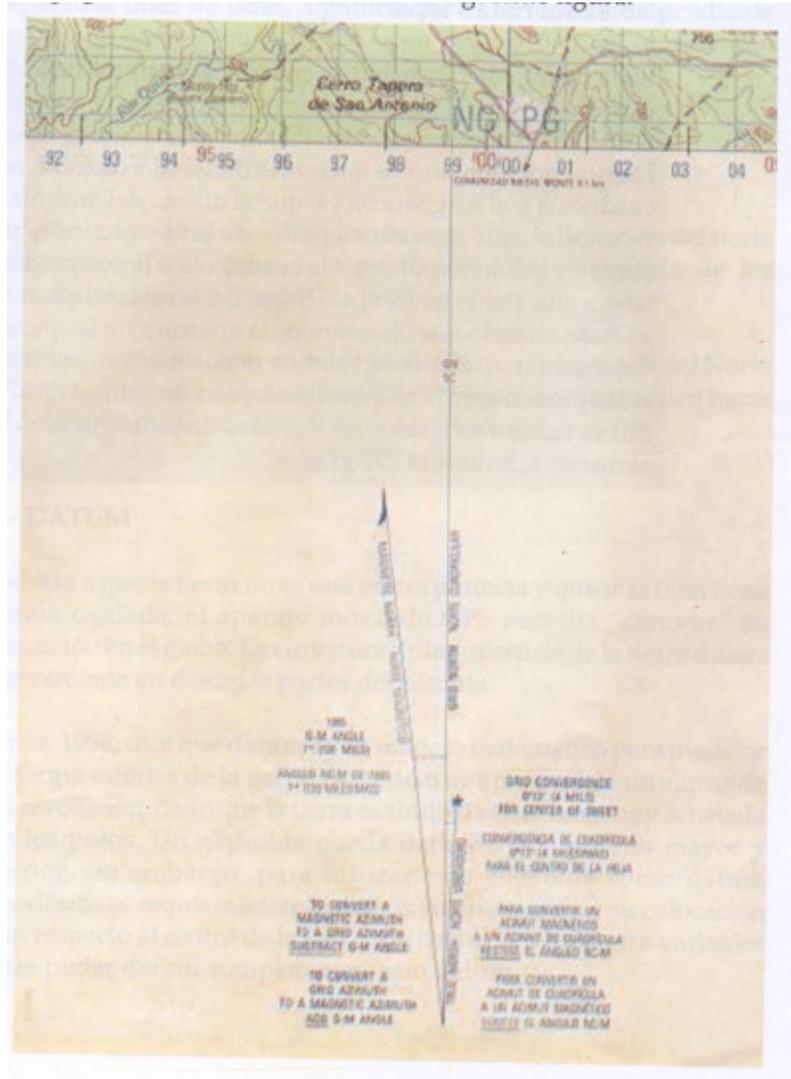
El diagrama de declinación es la relación o el ángulo que se tiene entre el norte del mapa o cuadrícula con respecto al norte magnético y al norte verdadero.

Norte verdadero, (norte geográfico>) es aquel determinado por el polo norte del meridiano que pasa por el centro de aloja. Es representado por una estrella.

Norte de cuadrícula, es la prolongación de las líneas verticales de la cuadrícula que aparecen en los mapas.

Norte magnético, es la dirección que señala la aguja imantada de una brújula. Este norte es señalada por una flecha.

La representación del diagrama de declinación en un mapa topográfico es como se indica en al siguiente figura.



El valor de la declinación magnética se cita en el mismo diagrama este valor es diferente para diferentes zonas y latitudes, además este valor de la declinación varía con los años, por esta razón se debe usar, en lo posible, la cartografía de mayor actualidad o consultar con el Instituto Geográfico Militar el valor para una zona o un determinado año ya que los mapas magnético son elaborados cada 5 años.

En la figura anterior se indica que el ángulo de declinación entre el norte de cuadrícula y los norte verdadero y magnético son de  $0^{\circ}13'$  y  $7^{\circ}$  respectivamente. Para trabajos forestales, inventario forestal por ejemplo, nos interesa la declinación entre el norte de cuadrícula y el magnético, ya que el diseño del inventario de reconocimiento se realiza a partir de líneas verticales y horizontales que corresponden a la cuadrícula o líneas perpendiculares a ella. Por lo tanto, si las líneas del inventario están de Este a Oeste, cuando esté ejecutando la apertura de las picadas se debe sumar el acimut el valor de la declinación, por ejemplo si las picas deben ser aperturadas con el acimut de 270 grados se suma a este valor los 7 grados de la declinación y al nuevo acimut será 277 grados.

#### **4.1.7. Curvas de nivel**

Son líneas imaginarias del terreno, que unen puntos de igual altitud con respecto al nivel medio de mar.

Si en un mapa topográfico las curvas de nivel aparecen bastante separadas unas de otras, significa que el terreno es de pendiente suave, en cambio cuando aparecen muy próximas representan pendientes fuertes.

#### **5.- ACIMUT Y RUMBO**

Acimut magnético, es el ángulo que forma con la dirección del norte magnético (NM), medido a partir del NM en sentido de las manecillas del reloj (desde 0' a 360').

Rumbo magnético, es el ángulo que forma con la dirección del Norte o Sur magnético, medido a partir del Norte o Sur magnético hacia el Este u Oeste (desde 0' a 90').

#### **6.- 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.

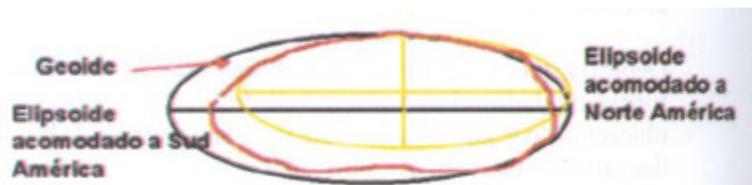
Ortiz, 1998, dice que datum es un modelo matemático para modelar la forma esférica de la tierra. El modelo óptimo es el de un elipsoide de revolución, dado que la tierra es abultada en el ecuador y achatada en los polos. Un elipsoide queda definido por sus ejes mayor y menor, sin embargo, para utilizar este elipsoide como datum geodésico se requiere además definir su orientación y su colocación con respecto al centro de la tierra. De hecho se requieren 8 variables para poder definir completamente un datum.

Estas 8 variables se han escogido de forma que se han determinadas regiones del mundo para reducir distorsiones en una región en particular.

En Bolivia se utiliza o se tiene dos tipos de Datums que son el PSAD-56 (desarrollado para Su América) se presenta cuando se trabaja con las cartas del Instituto Geográfico Militar y el WGS-84 (Sistema Geodésico Mundial) cuando se trabaja con las cartas del DMA, desarrollado por los EE.UU. La inadecuada programación presenta variaciones de hasta 300 metros o más entre ambos datum.

El datum WGS-84 utiliza un elipsoide centrado en el geocentro con su utilización es posible localizar precisamente cualquier objeto sobre la superficie de la tierra. Sin embargo, debido a su, reciente creación, no aparece en muchos mapas existentes 1998).

Varios modelos de GPS se programan automáticamente en la posición conocida como WGS-84, caso contrario, en la opción navegación del GPS, se puede conseguir otros datum.



## 7.- GEOREFERENCIACION

Procedimiento mediante el cual un objeto, sobre la superficie de la tierra, recibe una localización que identifica su posición espacial con respecto a un punto de coordenadas conocidas o marco de referencia.

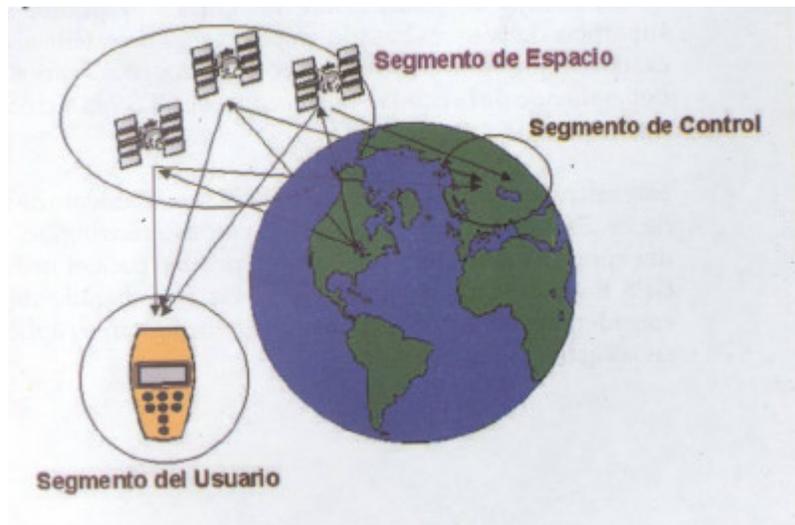
### **III. QUE ES GPS (Sistema de Posicionamiento Global)**

Es un sistema de localización geográfica de puntos sobre la superficie de la tierra basado en posiciones de satélites, con una exactitud que varía entre unos pocos metros hasta varios metros, dependiendo de la calidad del receptor de GPS y la técnica que se utilice para hacer la medición.

Este instrumento fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos el año 1973 con uso restringido; a partir del año 1993 se declara totalmente operable para el uso civil. El GPS ha mejorado en cuanto a precisión y bajado de precio considerablemente y actualmente se tiene bastantes aplicaciones en las actividades forestales.

## 1. EL SISTEMA GPS

El sistema GPS está compuesto por el Segmento de Espacio conformado por los satélites, el Segmento de Control conformado por una serie de estaciones de control y el Segmento del Usuario conformado por los receptores GPS, donde interactúan entre sí para determinar la posición.



## 1.1. Segmento de control

Está conformado por 5 estaciones de rastreo en todo el mundo, monitoreadas por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos, como se puede observar en la figura siguiente.



### 1.1.1 Funciones básicas del segmento de control

Todas desarrollan funciones de monitoreo donde:

- Reciben las señales de los satélites
- Capturan datos meteorológicos
- Capturan imágenes satelitales
- Toda la información recibida es transmitida a una estación maestra

### 1.1.2 Estación maestra (Colorado Spring EE.UU.)

La estación -maestra es la que se encuentra ubicada en Colorado Spring, es la encargada de transmitir básicamente a los satélites:

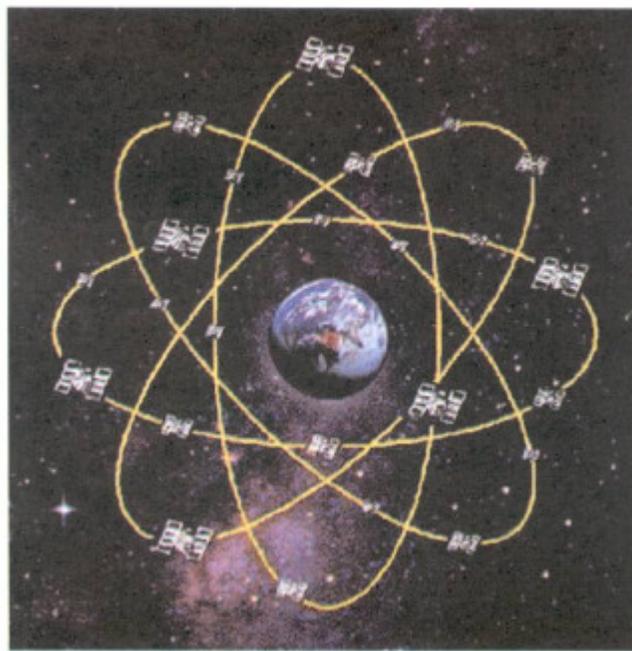
- Parámetros de predicción de órbitas
- Correcciones en los relojes de los satélites (atómicos)
- Parámetros de predicción en la ionosfera
- Correcciones en los almanaques de los satélites
- "Salud" de los satélites

## 1.2 Segmento de espacio

Conformado por 24 satélites en constelación a una altura de 20000 km aproximadamente, distribuidos en 6 planos orbitales separados cada 60 grados, cuatro satélites están por cada plano, 3 de ellos funcionan y uno queda como repuesto.

### 1.2.1 Funciones básicas del satélite

- Las funciones de un satélite son:
- Recibir y almacenar toda la información transmitida por las estaciones de control.
- Mantener el tiempo exacto por medio de sus 4 relojes o Transmitir la información mediante los códigos: C/A,P y D al usuario por medio de 2 frecuencias L1 y L2.
- Ejecutar maniobras de reubicación



### **1.3. Segmento del usuario**

La señal que emiten los satélites es libre y cualquier persona que posea un GPS puede captarla y así determinar una posición geográfica, ya sea en tierra, mar o aire sin ningún costo y bajo diferentes condiciones atmosféricas, es decir no es afectada por el viento, lluvias u otros fenómenos, tanto en el día como en la noche.

#### **1.3.1. Componentes de un receptor de GPS**

En un receptor de GPS claramente se pueden distinguir 2 partes:

1. Los circuitos electrónicos, en sí toda la parte física (hardware)
2. Los programas que contiene, es decir toda la parte lógica (software)

#### **1.3.2. Función del software**

El software está conformado por los programas para:

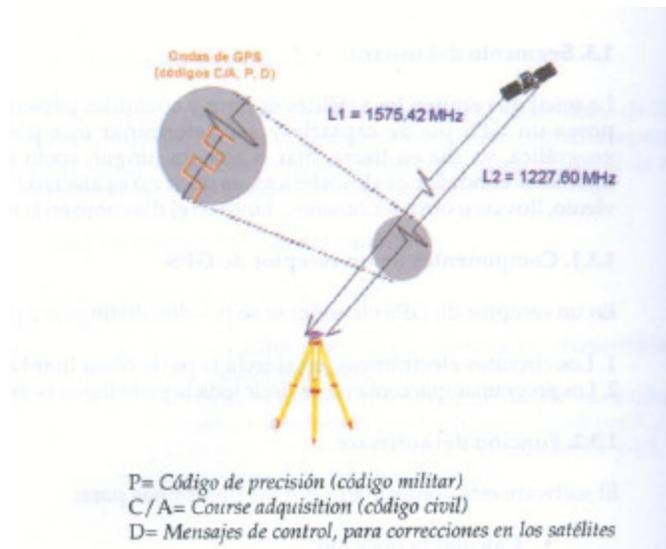
- Calcular la posición
- Visualización (pantalla)
- Programas de interfaces (transferencia de datos a una computadora)

## **2. COMO SE COMUNICAN LOS SATELITES Y LOS RECEPTORES GPS**

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 receptor de GPS.

Cada uno de los 24 satélites de GPS en órbita emite una señal constante hacia la tierra (en dos frecuencias L1 y L2); codificada en esta señal se encuentra la posición del satélite en el firmamento y la hora del día, con exactitud de un billonésimo de segundo.

Sobre la frecuencia L1 se modulan el código C/A (coarse acquisition), el código P y el mensaje de navegación D, su longitud de onda de esta frecuencia es de +/- 300 m. En cambio en la frecuencia L2 se modulan el código P (10 veces más preciso que el C/A) y el mensaje de navegación, su longitud de onda es 30 m.



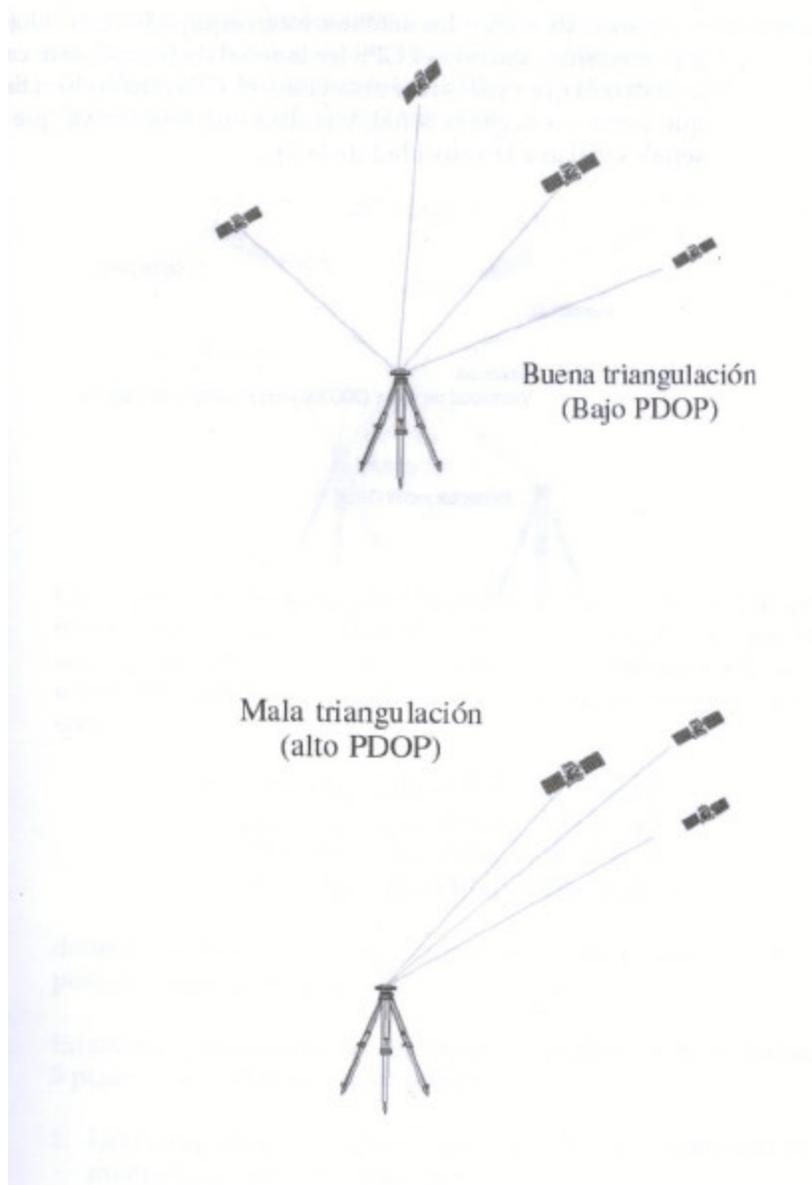
Para la obtención de coordenadas, por el receptor de GPS, se deben cumplir las siguientes tareas:

### 2.1. Triangulación

La triangulación se utiliza para la determinación de las coordenadas de cualquier punto sobre la tierra debe existir por lo menos 3 o más satélites en la constelación que estén enviando señales y que el receptor de GPS esté captando estas señales. La calidad de la triangulación se denomina PDOP (dilusión de la precisión).

Una constelación o distribución adecuada de satélites facilita los cálculos de triangulación. 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 menores se consideran buenos.

Existen receptores que no muestran estos valores, pero por defecto están programados para determinar coordenadas solamente cuando la triangulación de la constelación es buena.



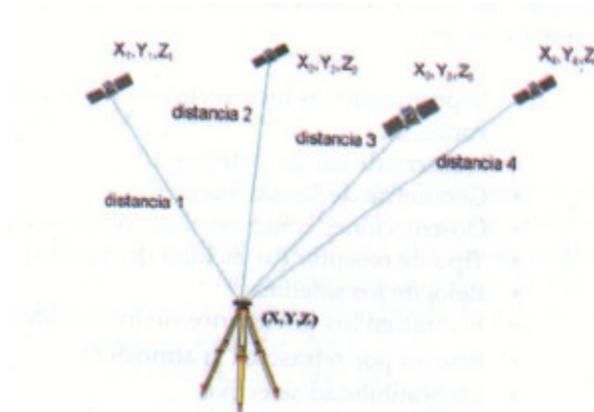
## 2.2. Cálculo de distancia GPS-satélite

El aparato de GPS y los satélites están equipados con relojes de alta precisión, cuando el GPS lee la señal de tiempo, éste calcula la distancia que existe entre el satélite y el GPS midiendo el tiempo que toma en llegar la señal, y realiza una relación ya que estas señales viajan a la velocidad de la luz.



### 2.3. Conociendo dónde están los satélites

es de La señal enviada por los satélites contiene, además, las efemérides, es decir, las rutas que siguen en su órbita, y como no existe mayor tiempo oposición a su desplazamiento a 20 000 km, entonces se determina la posición X, Y, Z en un instante dado



Conociendo la distancia y la ubicación de los satélites se genera un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas; el cuarto satélite considera los efectos del error de sincronización de los relojes del satélite y del receptor de GPS. Las ecuaciones generadas son:

$$\begin{aligned}d1 &= v \cdot \Delta t = \sqrt{(x-x1)^2 + (y-y1)^2 + (z-z1)^2} \\d2 &= v \cdot \Delta t = \sqrt{(x-x2)^2 + (y-y2)^2 + (z-z2)^2} \\d3 &= v \cdot \Delta t = \sqrt{(x-x3)^2 + (y-y3)^2 + (z-z3)^2} \\d4 &= v \cdot \Delta t = \sqrt{(x-x4)^2 + (y-y4)^2 + (z-z4)^2}\end{aligned}$$

donde: d1, distancias; v, velocidad de la luz; t, tiempo; x y z posición relativa de los satélites

En síntesis, para calcular la posición de un punto en la tierra, dados 3 puntos conocidos necesitamos saber:

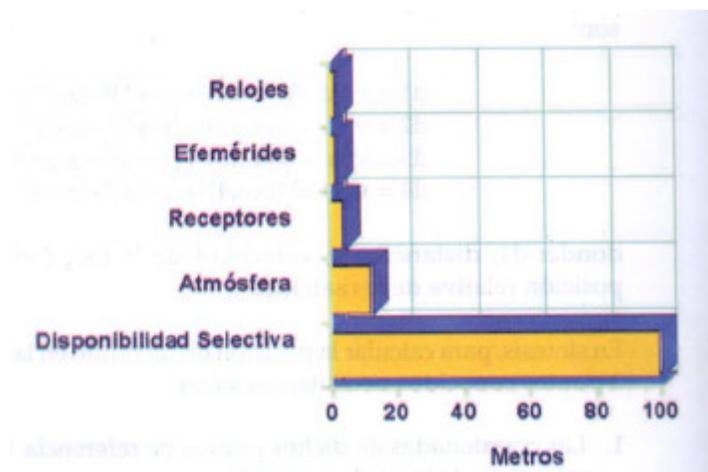
1. Las coordenadas de dichos puntos de referencia (satélites) el momento de hacer la medición.

2. La distancia "d" que hay entre cada satélite y el **punto** cuya posición se desea conocer.
3. La antena del receptor GPS debe colocarse sobre el punto a ser ubicado.

La exactitud del sistema de posicionamiento depende de varias fuentes de error; la contribución de cada fuente depende de variaciones en:

- Especificaciones incorrectas de fechas, horas, datums, zonas, etc.
- Número de satélites disponibles
- Geometría de los satélites
- Obstrucciones como árboles, edificios, etc.
- Tipo de receptor (capacidad de canales)
- Reloj de los satélites
- Errores en los calendarios de los satélites
- Errores por retraso en la atmósfera
- Disponibilidad selectiva
- Errores en la recepción por el GPS

La siguiente gráfica muestra el aporte en el error de determinación de coordenadas por alguna de las fuentes:



### **3. CONSIGUIENDO DISTINTAS PRECISIONES**

#### **3.1. Tipos de receptor GPS (Tomado in extenso de Sabella, 1996)**

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.

##### **a) Número de canales**

Esta es, probablemente, la distinción más importante, ya que el número de canales determina con cuántos satélites se puede comunicar simultáneamente el aparato. Cada canal del aparato de GPS puede comunicarse con un solo satélite o puede "deambular" por el firmamento en busca de satélites disponibles por el 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 cuenta con 4, 6, 8 ó 12 canales. Es importante tener en cuenta que a mayor número de canales en un aparato de GPS, mayor la exactitud de éste.

##### **b) Notación vs. base de datos**

Los aparatos de notación proporcionan posiciones en forma de lecturas en pantalla; y aunque tienen capacidad para almacenar un número de 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 una computadora personal que disponga de software para corrección, procesamiento 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 procesamiento.

#### **c) 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 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 complicado. 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.

#### **d) Gauss vs. Maxwell**

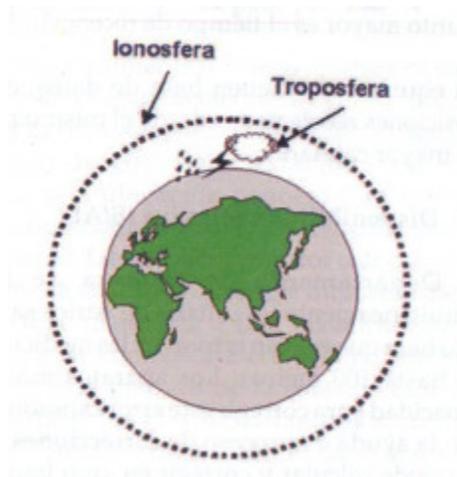
El tipo de procesador interno de coordenadas con que cuenta un aparato de GPS determina su velocidad y exactitud para el cálculo de posiciones trianguladas. En los últimos años, los procesadores Gauss se han utilizado de forma estándar en los aparatos de GPS; sin embargo, recientemente se están utilizando 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.

### 3.2. Correcciones atmosféricas

La ionósfera compuesta por una banda de partículas eléctricas comprendida entre los 128 y 192 km sobre la superficie de la tierra, afecta la velocidad de propagación de las señales electromagnéticas en el espacio.

Las ondas de radio que atraviesan este medio sufren retrasos; es posible corregir este error a partir de la precisión del comportamiento promedio de la ionósfera, o a través de la comparación de las velocidades relativas de propagación de dos señales de frecuencia de diferentes medidas.

Los residuos de gases y vapor de agua contenidos en la atmósfera, también afectan la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas; los errores causados son similares en magnitud a aquellos causados por efectos de la ionósfera. Sin embargo, los efectos de los errores causados por la atmósfera, son imposibles de corregir.



### 3.3. Ubicación de los satélites en el firmamento

Es muy frecuente escuchar, en el país, lo difícil que es determinar coordenadas entre las 11 de la mañana y las 2 de la tarde, este fenómeno se presenta porque en esta parte del mundo, y a estas

horas, no existe el suficiente número de satélites para lograr la triangulación y determinar las coordenadas. Por esta razón, es importante la planificación del trabajo de campo.

Cuando se reciben señales de satélites que se encuentran 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 mientras mayor sea la distancia de viaje de la señal, menor será la potencia de ésta. Asimismo, a menor altura del satélite en el firmamento mayor la posibilidad de que sus señales "reboten" en edificios, torres de antenas de radio o accidentes topográficos.

### **3.4. Tiempo de mediciones**

El mayor número de puntos recolectados en una posición, mejora el promedio estadístico que se puede calcular para ésta. Actualmente los receptores de GPS cuentan con la opción "average" que promedia los puntos tomados en una misma posición, y cuanto mayor es el tiempo de recepción mejor será esta posición

En equipos que tienen base de datos, el promedio de 200-400 posiciones recolectadas desde el mismo punto dará una posición de mayor calidad.

### **3.5. Disponibilidad selectiva (SIA)**

El Departamento de Defensa de los EE.UU., codifica simultáneamente las señales de varios satélites escogidos al azar, esto hace que existan errores en las mediciones 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 proceso de **correcciones diferenciales** este 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.

En condiciones ideales, en las que no existe necesidad de hacer correcciones diferenciales, la mayoría de los aparatos de GPS para mapeo proporcionan una

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 S/A), los errores atmosféricos, desviaciones en las órbitas de los satélites y otros son corregidos mediante las mediciones diferenciales.

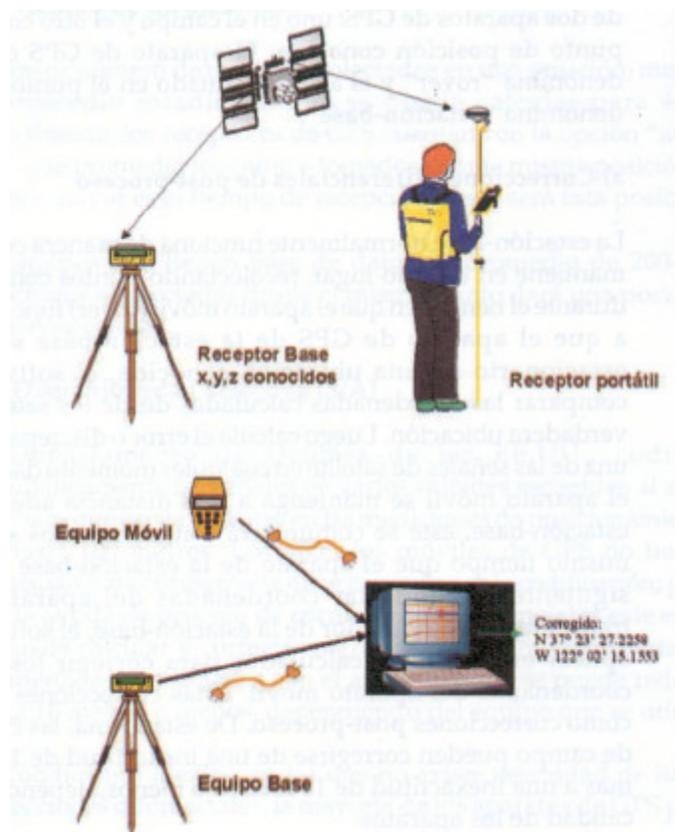
Este tipo de errores se puede corregir, mediante el uso simultáneo de dos aparatos de GPS: uno en el campo y el otro con base en un punto de posición conocida. El aparato de GPS de campo se **denomina "rover"** y el aparato situado en el punto conocido se denomina **"estación-base"**.

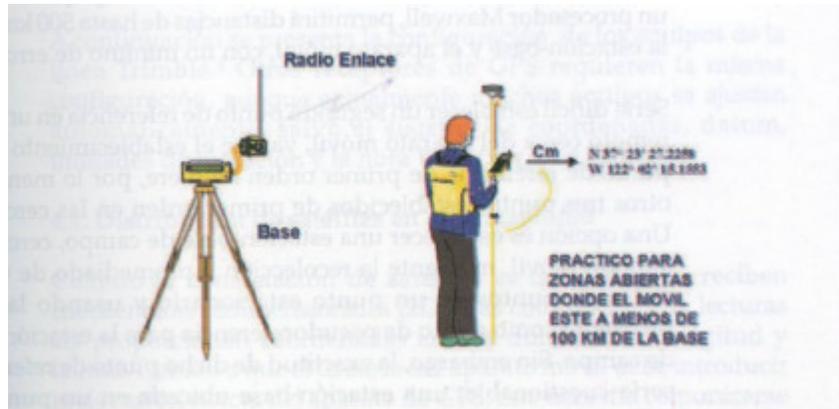
#### **a) Correcciones diferenciales de post-proceso**

La estación-base normalmente funciona de manera constante y se mantiene en un solo 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 aparato 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 siguiente). 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-proceso**. 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.

## b) 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 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. 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 RTIX.





### c) Coordinación entre el aparato móvil y la estación-base

Las correcciones post-proceso pueden aplicarse sólo si las señales recibidas por el aparato móvil son también recibidas por el Aparato de la estación-base. Sí 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, sí 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. 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 movil. La mejora del aparato de la estación base, equipándolo con un

móvil. La mejora del aparato de la estación base, equipándolo un procesador Maxwell, permitirá distancias de hasta 500 km 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 punto de referencia de primer orden requiere, por lo menos, 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 pseudoreferencia para la estación-base de campo. Sin embargo, la exactitud de dicho punto de referencia sería cuestionable.; una estación-base ubicada en un 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 de referencia establecidos 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 y nunca al contrario.

#### 4. CONFIGURACION DEL GP5 (Tomado in extenso de Sabella, 1996)

A, continuación se presenta la configuración de los equipos de la línea Trimble.1 Otros receptores de GPS requieren la misma configuración, aunque actualmente muchos equipos se ajustan automáticamente, salvo el sistema de coordenadas, datum, unidades de medición y la hora = (ver más adelante).

##### 4.1. Distribución de satélites en el firmamento

Cuando la constelación de satélites es deficiente, se reciben coordenadas bidimensionales (2D). 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.

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.

##### RECOMENDACION

Programar el aparato móvil para obtener posiciones de tipo manual 3D (no 2D o "Auto"). También asegúrese de que el aparato esté programado en "Land" (tierra), no en "Sea"(mar) o "Air" (aire)

---

En ningún momento se pretende realizar propaganda por éstos equipos o por otros señalados en otras partes de la guía.

#### **4.2. Ubicación de satélites en el firmamento**

Cuando se reciben señales de satélites que se encuentran 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 la vegetación, accidentes topográficos o edificios.

En el caso de los GPSs que tienen control sobre el filtro de elevación, por ejemplo el GPS "Geo Explorer" se recomienda que sean mayores a los 15 grados del nivel del horizonte.

#### **RECOMENDACION**

Se recomienda utilizar antenas externas en áreas cubiertas de vegetación, o despejar el área cerca del punto que se va a tomar o buscar una zona despejada, y mediante trigonometría ubicar el punto deseado

#### **4.3. Potencia de las señales del 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). Esta potencia es disminuida por interferencia externa, debida a ondas de radio, perturbaciones atmosféricas o fallas de satélite.

Existen GPSs que pueden ser controlados por el SNR, en este caso se recomienda que sean mayores a 6, con esto se garantiza señales de alta calidad.

#### **RECOMENDACIÓN**

Procure no recolectar coordenadas cerca de antenas de radio, edificios o laderas de montañas

#### **4.4. 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 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.

#### **RECOMENDACIÓN**

Programa el Positional Logging Interval a 1 segundo y el Measurement Logging Interval a 5 segundos

#### **4.5. Sistemas de coordenadas**

En la mayor parte de los aparatos de GPS, por defecto el formato de posición es Latitud y Longitud en grados, minutos y segundos, la elección del sistema de coordenadas no afectará la calidad de la posición y se recomienda utilizar coordenadas planas ya que se puede determinar, como se dijo anteriormente, distancias y superficies fácilmente.

RECOMENDACIÓN

Cuando utiliza coordenadas planas UTM en el aparato de GPS en Bolivia, use las Zonas UTM 19, 20 ó 21, dependiendo de su ubicación específica

**4.6. Datum**

En Bolivia, la programación correcta de datum para los aparatos de GPS, WGS-84, solamente se cambiará si se está usando mapas o cartas que especifiquen un datum diferente, para luego realizar la conversión (mediante programas computacionales (GEOCAL) o por el GPS mismo) al datum. WGS-84 de acuerdo a la Ley Forestal 1700.

RECOMENDACIÓN

En Bolivia, programar siempre el Datum en WGS-84 ya sea para coordenadas geográficas o planas

## **5. APLICACIONES DEL GPS EN ACTIVIDADES FORESTALES**

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 y otros.

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.

### **5.1. Zonificación**

Sabella, 1996 dice, normalmente el producto final de estos trabajos es un mapa que delimite rasgos biofísicos, tales como: tipos de bosque, cuencas hidrográficas o tipos de suelos. 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.

### **5.2. Delimitación**

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

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, al mapear los límites de una parcela en el terreno, se mapearán también inadvertidamente los límites de las parcelas colindantes.

En esta ocasión el GPS, es de gran utilidad para la delimitación ya sea de: propiedades, concesiones, reservas municipales, comunidades y otros.

### **5.2.1. Delimitación haciendo uso del GPS diferencial**

Para la delimitación a nivel de predios ya sea privados o comunales, la aplicación de GPS diferencial es muy necesaria, porque cuanto más pequeñas son las superficies y distancias a representar, mayor será la precisión con la finalidad de garantizar de que no exista sobreposición y que unos estén ganando y otros estén perdiendo. A continuación se presentan los materiales y la metodología empleada en el mapeo de comunidades de Lomerío:

#### **a) Materiales:**

- Un GPS Base y/o Estación Base (Maxwell, PFCBS V2.32)
- Un GPS Rover (Geo-Explorer, Trimble)
- Una antena externa para la Estación Base y GPS Rover.
- Una computadora personal (Software Pfinder Series, Trimble)
- Fuente de poder para la computadora personal
- Pilas Alk~as (1.5 v. AA)
- Un croquis elaborado conjuntamente con las comunidades de la poligonal a ser levantada más caminos, brechas, picas de acceso, todo lo que sea necesario para una mejor planificación.

## **b) Metodología:**

- Primero definir los límites en el terreno del perímetro mediante picas por lo menos de 1 m de ancho, con la participación de los colindantes o interesados, para evitar problemas una vez levantada la información.

- Mojonear en cada vértice y despejar la vegetación, por lo menos 5 m de radio a partir del mojón, esto facilita la recepción de las *señales de* los satélites por el GPS rover.

- Establecer la Estación-Base, en un lugar estratégico, cosa de que garantice tanto que el GPS-base y GPS rover trabajen con los mismos satélites, para facilitar la corrección diferencial.

Antes de viajar al campo para el levantamiento de datos, realizar la configuración del GPS base y GPS rover; al inicio de cada jornada se debe verificar la configuración del GPS.

-Realizar un cronograma de los días y horas que se va a trabajar, cosa de que el GPS base funcione cuando se esté trabajando en el campo con el GPS rover y tener siempre contacto por posibles problemas o modificaciones, en cuanto al horario de trabajo dependerá de las horas de mayor disponibilidad de satélites, se recomienda de 7:00 a 11:00 y 14: 00 a 17:00 h.

En el levantamiento de los límites con GPS, generalmente existen puntos fijos y móviles; los puntos fijos son los mojones, para este caso se creará un archivo en el GPS para cada mojón donde se recolectará, por lo menos, mínimamente 300 posiciones por archivo (una posición/ segundo) y los puntos móviles se considera cuando el límite es un camino o un río, para este caso también se crea un archivo y se realiza el recorrido registrando una posición cada segundo, cinco o diez segundos, dependiendo de la disponibilidad de memoria del GPS.

- Cuando se crea un archivo en el GPS se debe mantener el nombre del archivo original, para uniformizar con los archivos que crea la Estación Base; esto facilitará bastante al momento de realizar la corrección diferencial, además, se registrará en una libreta de campo el nombre del archivo, fecha y hora, de qué mojón se trata (natural o artificial), un croquis de los colindantes y todas las características posibles y los nombres de quienes participaron en la delimitación, otro punto importante es anotar el nombre del archivo anterior, cosa de que el momento de procesar los datos no exista duda alguna.
- Cada fin de jornada se debe vaciar toda la información recolectada a la computadora personal, para evitar la pérdida de archivos accidentalmente y liberar memoria para el siguiente día.
- Una vez concluido el trabajo de campo se realizará la corrección diferencial y se confeccionará un mapa borrador y se dará a conocimiento a todos los interesados, para ver si hay alguna observación o si todo está conforme, para oficializar el trabajo final.

### **5.3. 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 (Sabella, 1996).

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.

### **5.3.1. Aplicación del GPS en la ejecución de inventarios forestales**

Para iniciar un inventario forestal, se debe contar con el mapa tipológico o mapa de estratos de mayor interés forestal con los límites de la propiedad o concesión, además el mapa debe contener todos los elementos cartográficos y temáticos como coordenadas, grilla, caminos, fuentes de agua, brechas, etc. Sobre este mapa se realiza el diseño del inventario siguiendo las recomendaciones de la norma técnica, distribuyendo de manera sistemática líneas y sobre éstas las unidades de muestreo. .

Ayudará mucho en la ejecución del inventario la existencia de caminos o brechas de anteriores aprovechamientos, ya que por esta infraestructura se podrán ubicar directamente las líneas de inventario con la ayuda del GPS y las brigadas podrán acceder para la apertura de picas.

Para la ubicación de cada línea de inventario seguir el siguiente procedimiento:

- 1 . Determinar las coordenadas X, Y en el mapa tipológico de aquellos lugares donde las líneas de inventario intersectan o cruzan a los caminos, brechas, sendas y otros por los cuales se puede llegar caminando o en vehículo.
2. Introducir estas coordenadas obtenidas del mapa al receptor de GPS, cada uno con un nombre propio.

3. Aplicar la opción "navegación" en el GPS, es decir recorrer, por ejemplo, por un camino en "busca del punto de intersección" entre el camino y la línea de inventario y a partir de este punto realizar la apertura de las picadas en la dirección que señala el diseño.
4. En áreas cubiertas de alta densidad de vegetación, es mejor obtener puntos promediados aprovechando los claros (ya sea por árboles muertos, por aprovechamiento, afloramientos rocosos, etc.) y determinar la distancia y el acimut (a partir del norte magnético) desde el punto de ubicación al punto que se quiere ubicar.
5. Para determinar el nivel de desplazamiento de las picas de inventario, es recomendable realizar la ubicación en el punto de intersección citado en el punto 3 y luego determinar otro punto GPS al final de la picada. De esta manera éstas se representarán adecuadamente en el mapa tipológico al final del inventario.
6. En aquellos lugares donde no existe buen acceso, el receptor de GPS, es aún más importante porque para llegar a una parcela o a una línea de inventario se requiere conocer la posición de éstas y la posición del observador. Cuando se presenta un gran obstáculo a lo largo de una picada, por ejemplo un curichi, se debe bordear el mismo y volver a encontrar la picada, y para encontrar la picada nuevamente usar el GPS.
7. Durante la ubicación o reubicación de las AAA (Áreas Anuales de Aprovechamiento) y las PPM (Parcelas Permanentes de Muestreo), la opción de navegación del GPS también es de gran ayuda.

#### **5.4. 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.

#### **5.5 Transformación de coordenadas tomadas de un datum a otro tipo de datum, con ayuda de un GPS.**

Por ejemplo, se quieren transformar coordenadas tomadas con un datum PSAD-56 (cartas del IGM) al datum de WGS-84.

1. Primero configuramos el GPS al tipo de datum PSAD-56.
2. Creamos un archivo e introducimos las coordenadas manualmente al GPS (cuando se introducen coordenadas planas se tiene que tomar en cuenta en qué zona se trabaja).
3. Nuevamente configuramos el GPS al datum WGS-84.
4. Por último recuperamos el archivo grabado y automáticamente el GPS realiza la transformación de las coordenadas al datum WGS-84.

#### **5.6. Transformación de coordenadas geográficas a coordenadas planas o viceversa, con el GPS.**

Por ejemplo queremos transformar coordenadas geográficas a coordenadas planas (UTM)

1. Primero configuramos el GPS al tipo de coordenadas geográficas (grados, minutos y segundos) y el datum correspondiente.

2. Creamos un archivo e introducimos las coordenadas manualmente al GPS.
3. Configuración del GPS al tipo de coordenadas planas.
4. Por último recuperamos el archivo grabado y automáticamente el GPS realiza la transformación al tipo de coordenadas planas.
5. Cuando se realiza la transformación al revés, es decir, de planas a geográficas, al momento de introducir las coordenadas planas se tiene que considerar la zona de ubicación (Zona 19, 20 y 21 para Bolivia).

### **5.7. Determinación del error magnético con la ayuda de un GPS**

En Bolivia, el error magnético pocas veces ha sido considerado en las actividades forestales. Esto puede crear conflictos porque en muchos casos, por no considerar el error magnético, se puede estar trabajando en zonas que no corresponden o zonas de alta fragilidad ecológica. Por ejemplo, cuando se ejecuta un inventario de reconocimiento, durante la apertura de picas se tiene que considerar el error magnético, sólo así se puede asegurar que las líneas de inventario coincidan con el diseño elaborado en el mapa. justamente a partir de un mapa de inventario se puede determinar el error magnético para ese área de acuerdo a lo siguiente, esto es válido para un receptor Garmin 12 XL.

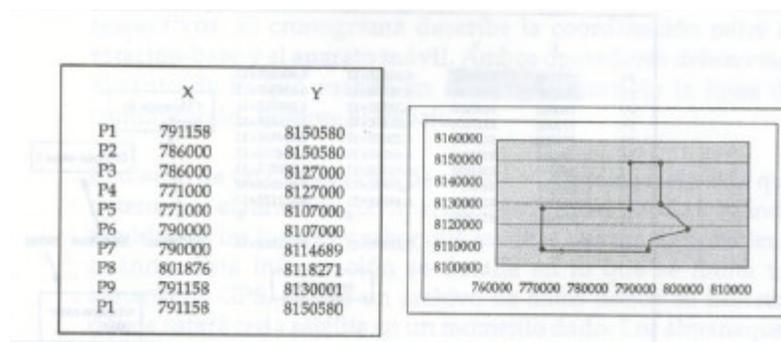
1. En el centro del mapa de inventario definimos dos puntos A y B con una orientación franca de N-S o E-W y determinamos las coordenadas de estos dos puntos.
2. Configuramos el GPS de acuerdo a las especificaciones del mapa, es decir: tipo de coordenadas, geográficas o planas (zonas), datum y el norte con el cual se considerará el acimut, en este caso definir a partir del norte magnético.
3. Luego creamos en el GPS dos archivos e introducimos en forma manual las coordenadas del punto A y B.
4. Posteriormente seleccionamos la opción "distancia y sol". En esta opción aparecerán dos mensajes, el primero indica DE y el segundo A, es decir lo que está pidiendo el receptor es la especificación de los archivos para el cálculo de la distancia entre dos puntos y el acimut entre ellos.

5. Para el caso del ejemplo entre los puntos A y B, si la orientación entre ambos puntos fue de Norte a Sur, significa que en el receptor debería aparecer 0 grados o 360 grados. Pero como se empleó el norte magnético el receptor indicará el error magnético entre los dos puntos, y esa, justamente, es la declinación magnética para esa zona.

### 5.8. Determinación de áreas o superficies a partir de coordenadas planas

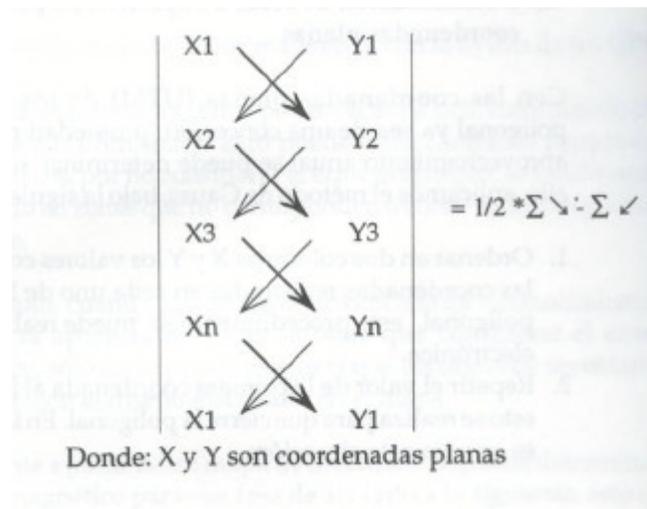
Con las coordenadas planas (UTM) de los vértices de una poligonal ya sea de una concesión, propiedad privada o área de aprovechamiento anual se puede determinar su superficie. Para ello, aplicamos el método de Gauss, bajo la siguiente metodología:

1. Ordenar en dos columnas X y Y los valores correspondientes a las coordenadas registradas en cada uno de los vértices de la poligonal, este procedimiento se puede realizar en una hoja electrónica.
2. Repetir el valor de la primera coordenada al final de los datos; esto se realiza para que cierre la poligonal. En la figura siguiente se aprecia esta situación:



3. Aplicar la fórmula de GAUSS, que es una matriz de coordenadas X y Y donde se multiplica la abscisa del primer vértice por la ordenada del segundo, hasta terminar con la abscisa del último vértice por la ordenada del primero. La superficie resultante es el promedio de la diferencia de la sumatoria entre la primera multiplicación y la segunda. El área es definida en metros cuadrados.

La fórmula general es:



En resumen tendremos:

	X	Y			
P1	791158	8150580	6,4484E+12	6,40636E+12	
P2	786000	8150580	6,3878E+12	6,40636E+12	
P3	786000	8127000	6,3878E+12	6,2692E+12	
P4	771000	8127000	6,2508E+12	6,2692E+12	
P5	771000	8107000	6,2508E+12	6,40453E+12	
P6	790000	8107000	6,4106E+12	6,40453E+12	
P7	790000	8114689	6,4134E+12	6,50697E+12	
P8	801876	8118271	6,5193E+12	6,42284E+12	
P9	791158	8130001	6,4484E+12	6,43212E+12	
P1	791158	8150580	0	0	
			5,7517E+13	5,75155E+13	
					1191729616
					595864808
					59586

sumatorias

Diferencia de suma

División entre 2

División entre 10000

## 6. PLANIFICACION DE TRABAJO DE CAMPO

Si los veinticuatro 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 dónde estará cada satélite en un momento dado. Los almanaques

se recolectan automáticamente cuando se reciben señales de GPS - la información está incluida en las señales del 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 satélite 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.

## **BIBLIOGRAFIA**

Anónimo, 1996. Curso de introducción a la tecnología de los Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite (GPS). Geosystem S.R.L. Santa Cruz, Bolivia -seminario teórico práctico de GPS.

Anónimo, 1996. Curso Dissman. Bogotá, Colombia.

Anónimo, sin fecha. Presentación de GPS básico en el programa Powerpoint. Geosystem. Santa Cruz, Bolivia.

Caranton, D., sin fecha. El uso de mapas y fotografías aéreas.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.

Castañeda, P. 1997. Cartografía. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.

Centro Panamericano de Estudios e Investigación Geográficas, 1975. Principios cartográficos.

Hosius, A. 1988. Topografía. Manual del técnico forestal. Texto de enseñanza de la Escuela Técnica Superior Forestal. Cochabamba, Bolivia.

Ortiz, E. 1998. Aplicación de la tecnología GPS en actividades de manejo de recursos naturales. Boletín KURU. Organó informativo de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica. No 24, Mayo 1998.

Sabella Raymond, 1996, Guía general para la utilización del Sistema de Posicionamiento Global por satélite (GPS) y su aplicación en trabajos de mapeo. Bolfor, Santa Cruz, Bolivia.